

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

### [Claim(s)]

It is System Which Generates Plan Which Consists of a Series of Actuation Performed by Bending Equipment for Bending Work Piece Which Consists of Sheet-Metal Forgeability Material. 1. Said Bending Equipment It has a gripper for holding a work piece during bending activation. Said a series of actuation It consists of one-set N bending for forming a completion work piece from the stock sheet metal of forgeability material. A proposal means to propose actuation in which plurality including bending as which the plurality performed by said equipment was proposed to the m-th actuation in said a series of actuation was proposed; A sub plan means to offer the proposed sub plan accompanying proposed each bending;

A system equipped with a generation means to generate the plan which includes a series of bending from the 1st bending to the Nth bending by choosing each bending by said a series of actuation based on said proposed sub plan accompanying said proposed bending and each proposed bending.

2. It is a system according to claim 1. System by which said proposal means is equipped with a means to propose bending out of N bending of said perfect set which still remains.
3. It is a system according to claim 1. System which said proposal means equips with a means to propose bending out of N bending of a perfect set which remains as bending being still insufficient, according to active jamming of a limit.
4. It is a system according to claim 1. System by which said proposal means is equipped with a means to propose re-spotting of a grip of said gripper on said work piece, to the m-th actuation.
5. It is a system according to claim 1. Said system accompanying said selected bending in said plan to have been generated by which a part of proposed sub plan [ at least ] is included.
6. It is a system according to claim 1. System further equipped with the means for expressing said m-th actuation in said a series of actuation as the m-th level of a search tree.
7. It is a system according to claim 5. System by which said proposed sub plan consists of a setup and control information of said bending equipment.
8. It is a system according to claim 7. System by which said proposed sub plan consists of the last location on said work piece with which said gripper holds said work piece during activation of said bending of said a series of bending.
9. It is a system according to claim 7. System which consists of location range on said work piece which can hold said work piece by said gripper while said proposed

BC  
Scanneble Copy

sub plan performs said bending of said a series of bending.

10. It is a system according to claim 7. System which consists of a figure showing the number of anticipation of re-spotting of said gripper which needs said proposed sub plan for each to complete said a series of bending.

11. It is a system according to claim 7. System by which said proposed sub plan consists of a display cannot perform the next bending in said single string unless a grip of said gripper on said work piece is re-spotted probably.

12. It is SHISUTE according to claim 7. System by which said proposed sub plan consists of a location on said work piece with which a re-spotting gripper holds said work piece during the re-spotting actuation activation between bending of said a series of bending.

13. a system according to claim 7 -- it is -- said proposed sub plan is the tool used for performing said bending of said a series of bending -- system which consists of a display of a \*\* stage.

14. a system according to claim 7 -- it is -- said proposed sub plan is the tool used for performing said said a series of bending -- system which consists of a location of a \*\* stage.

15. a system according to claim 7 -- it is -- in order that said proposed sub plan may perform said bending of said a series of bending, said work piece is the tool loaded in said bending equipment -- system which consists of a location along a \*\* stage.

16. a system according to claim 7 -- it is -- said proposed sub plan is a tool in activation of said bending of said a series of bending -- system which consists of a movement plan for carrying out movement of the surroundings of a \*\* stage.

17. It is a system according to claim 1. System further equipped with a rough means to estimate the cost relevant to proposed each bending.

18. It is a system according to claim 17. System which generates the plan in which said generation means includes a series of bending to the 1st to Nth bending by choosing each bending in said a series of actuation based on said rough cost relevant to said sub plan accompanying said proposed bending and proposed each bending, and proposed each bending.

19. It is a system according to claim 18. System which consists of k cost computed based on the rough time amount which said rough cost relevant to the Nth bending of said a series of N bending takes for said bending equipment to complete one or more actuation of said bending.

20. It is a system according to claim 18. System by which said rough cost relevant to the Nth bending of said a series of N bending consists of h cost by which said bending equipment is computed based on the rough sum total time amount taken to complete one or more actuation of each remaining bending of said bending sequence following said Nth bending.

21. It is a system according to claim 19. System by which the rough cost relevant to the Nth bending of said a series of N bending consists of h cost by which said bending equipment is computed based on the rough sum total time amount taken to complete one or more actuation of each remaining bending of said bending sequence following said Nth bending further.

22. a system according to claim 19 -- it is -- said one or more actuation of predetermined bending is the tools of precedence bending about said work piece -- it is the tool of a \*\* stage location to said predetermined bending -- system which consists of making it move to a \*\* stage location.

23. a system according to claim 19 — it is — when said one or more actuation of predetermined bending installs said bending equipment, it is the tools of an addition required for activation of said predetermined bending — system which consists of installing a \*\* stage.
24. It is a system according to claim 19. System by which said one or more actuation of predetermined bending consists of re-spotting a grip of said gripper on said work piece before activation of said predetermined bending.
25. a system according to claim 20 — it is — said one or more actuation of predetermined bending is the tools of precedence bending about said work piece — it is the tool of a \*\* stage location to said predetermined bending — system which consists of making it move to a \*\* stage location.
26. a system according to claim 20 — it is — when said one or more actuation of predetermined bending installs said bending equipment, it is the tools of an addition required for activation of said predetermined bending — system which consists of installing a \*\* stage.
27. It is a system according to claim 20. System by which said one or more actuation of predetermined bending consists of re-spotting a grip of said gripper on said work piece before activation of said predetermined bending.

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号

特表平9-509618

(43)公表日 平成9年(1997)9月30日

(51)Int.Cl.<sup>a</sup>

B 21 D 5/01  
G 06 F 17/50

識別記号

9346-4E  
9191-5H

府内整理番号

F I

B 21 D 5/01  
G 06 F 15/60

J  
636 A

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求(全203頁)

(21)出願番号 特願平8-515914  
(86) (22)出願日 平成7年(1995)11月9日  
(85)翻訳文提出日 平成8年(1996)7月9日  
(86)国際出願番号 PCT/JP95/02291  
(87)国際公開番号 WO96/15481  
(87)国際公開日 平成8年(1996)5月23日  
(31)優先権主張番号 08/338,113  
(32)優先日 1994年11月9日  
(33)優先権主張国 米国(US)  
(31)優先権主張番号 08/386,369  
(32)優先日 1995年2月9日  
(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 株式会社 アマダ  
神奈川県伊勢原市石田200番地  
(71)出願人 アマダ アメリカ、インク。  
アメリカ合衆国 90621 カリフォルニア  
ブエナパーク ファイアーストーン ブ  
ルバード 7025  
(72)発明者 ポーン デビット アラン  
アメリカ合衆国 15211 ペンシルベニア  
ピッツバーグ ケアーサージ ストリー  
ト 209  
(74)代理人 弁理士 三好 秀和 (外1名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 板金曲げ計画の作成・実行用知能システム

(57)【要約】

共同生成計画作成システムを有する知能板金曲げシステムが提供される。計画作成モジュールが、曲げ計画を作成するために、数種のエキスパート・モジュールと相互に作用しあう。計画作成モジュールは、状態・空間サーチ・アルゴリズムを利用する。ロボット・グリッパ、レボ・グリッパを選択し、曲げ装置により形成されるワークを保持するグリッパの最適配置を判定するため、コンピュータ化された方法が提供される。コンピュータ化された方法は、曲げ装置に使用される工具だけを選択し、工具だけステージのレイアウトを判定するために提供される。曲げ装置が、運動計画等、時間のかかる計算の実行と同時に設置されるよう、操作計画作成方法が提供される。曲げ装置のダイ・レールに沿って工具だけステージの配置をガイドするバックゲージ・ガイド部材を使用し、工具だけステージを位置決定するため、追加の方法、或はシステムが提供される。運動制御オフセット値を学習し、一旦運動制御オフセット値を知ると、余分なセンサ・ベースの制御操作の必要性を排除するため、その方法が提供される。計画作成システムは、設計、コス

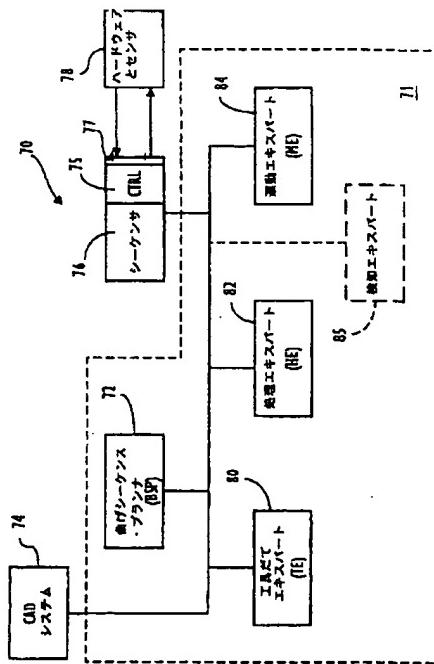


FIG. 5A

**【特許請求の範囲】**

1. 板金可鍛性材よりなるワークを曲げるための曲げ装置により実行される一連の操作よりなる計画を生成するシステムであり、前記曲げ装置は、曲げ実行中にワークを掴むためのグリッパを有し、前記一連の操作は、可鍛性材のストック板金から完成ワークを形成するための1セットのN曲げより構成され、

前記一連の操作内のm番目の操作に対して、前記装置により実行される複数の提案された曲げを含む複数の提案された操作を提案する提案手段と；

各提案された曲げに伴う提案されたサブ計画を提供するサブ計画手段と；

前記提案された曲げと各提案された曲げに伴う前記提案されたサブ計画に基づき、前記一連の操作で各曲げを選ぶことにより、第1曲げからN番目の曲げまでの一連の曲げを含む計画を生成する生成手段、

とを備えるシステム。

2. 請求項1に記載のシステムであり、

前記提案手段が、まだ残っている前記完全なセットのN曲げの中から曲げを提案する手段を備えるシステム。

3. 請求項1に記載のシステムであり、

前記提案手段が、制限の妨害により、まだ曲げ不足と

して残っている完全なセットのN曲げの中から曲げを提案する手段を備えるシステム。

4. 請求項1に記載のシステムであり、

前記提案手段が、m番目の操作に対して、前記ワーク上の前記グリッパの掴みの再位置決定を提案する手段を備えるシステム。

5. 請求項1に記載のシステムであり、

前記生成された計画には、前記選ばれた曲げに伴う前記提案されたサブ計画の少なくとも一部が含まれるシステム。

6. 請求項1に記載のシステムであり、

前記一連の操作内の前記m番目の操作をサーチ・ツリーの第mレベルとして表すための手段をさらに備えるシステム。

7. 請求項 5 に記載のシステムであり、

前記提案されたサブ計画が、前記曲げ装置の設定及び制御情報からなるシステム。

8. 請求項 7 に記載のシステムであり、

前記提案されたサブ計画が、前記一連の曲げの前記曲げの実行中に、前記グリッパが前記ワークを掴む前記ワ

ーク上の最終位置からなるシステム。

9. 請求項 7 に記載のシステムであり、

前記提案されたサブ計画が、前記一連の曲げの前記曲げを実行中に、前記グリッパによる前記ワークの掴みが可能な前記ワーク上の位置範囲からなるシステム。

10. 請求項 7 に記載のシステムであり、

前記提案されたサブ計画が、それぞれが前記一連の曲げを完了するのに必要な前記グリッパの再位置決定の予想数を表す数字からなるシステム。

11. 請求項 7 に記載のシステムであり、

前記提案されたサブ計画が、前記ワーク上の前記グリッパの掴みがまず再位置決定されない限り、前記一連内の次の曲げが実行不可能であるとの表示からなるシステム。

12. 請求項 7 に記載のシステムであり、

前記提案されたサブ計画が、前記一連の曲げの曲げ間での再位置決定操作実行中に、再位置決定グリッパが前記ワークを掴む前記ワーク上の位置からなるシステム。

13. 請求項 7 に記載のシステムであり、

前記提案されたサブ計画が、前記一連の曲げの前記曲げを実行するのに利用される工具だけステージの表示からなるシステム。

14. 請求項 7 に記載のシステムであり、

前記提案されたサブ計画が、前記一連の前記曲げを実行するのに利用される工

具だてステージの位置からなるシステム。

15. 請求項7に記載のシステムであり、

前記提案されたサブ計画が、前記一連の曲げの前記曲げを実行するために、前記ワークが前記曲げ装置内にロードされる工具だてステージに沿った位置からなるシステム。

16. 請求項7に記載のシステムであり、

前記提案されたサブ計画が、前記一連の曲げの前記曲げの実行において、工具だてステージの回りを機動するための運動計画からなるシステム。

17. 請求項1に記載のシステムであり、

各提案された曲げに関連するコストを概算する概算手段を更に備えるシステム  
。

18. 請求項17に記載のシステムであり、

前記生成手段が、前記提案された曲げ、各提案された

曲げに伴う前記サブ計画、及び各提案された曲げに関連する前記概算コストに基づき、前記一連の操作において各曲げを選ぶことにより、第1からN番目の曲げまでの一連の曲げを含む計画を生成するシステム。

19. 請求項18に記載のシステムであり、

前記一連のN曲げのN番目の曲げに関連する前記概算コストが、前記曲げ装置が前記曲げの1個以上の操作を完了するのに要する概算時間に基づき算出されるkコストからなるシステム。

20. 請求項18に記載のシステムであり、

前記一連のN曲げのN番目の曲げに関連する前記概算コストが、前記曲げ装置が前記N番目の曲げに続く前記曲げシーケンスの各残りの曲げの1つ以上の操作を完了するのに要する概算合計時間に基づき算出されるhコストからなるシステム。

21. 請求項19に記載のシステムであり、

前記一連のN曲げのN番目の曲げに関連する概算コストが、前記曲げ装置が前記N番目の曲げに続く前記曲げシーケンスの各残りの曲げの1つ以上の操作を完

了するのに要する概算合計時間に基づき算出される h コストから更になるシステム。

22. 請求項 19 に記載のシステムであり、

所定曲げの前記 1 つ以上の操作が、前記ワークを先行曲げの工具だけステージ位置から前記所定曲げの工具だけステージ位置まで移動させることよりなるシステム。

23. 請求項 19 に記載のシステムであり、

所定曲げの前記 1 つ以上の操作が、前記曲げ装置を設置する時、前記所定曲げの実行に必要な追加の工具だけステージを設置することよりなるシステム。

24. 請求項 19 に記載のシステムであり、

所定曲げの前記 1 つ以上の操作が、前記所定曲げの実行前に前記ワーク上での前記グリッパの掴みを再位置決定することよりなるシステム。

25. 請求項 20 に記載のシステムであり、

所定曲げの前記 1 つ以上の操作が、前記ワークを先行曲げの工具だけステージ位置から前記所定曲げの工具だけステージ位置まで移動させることよりなるシステム。

26. 請求項 20 に記載のシステムであり、

所定曲げの前記 1 つ以上の操作が、前記曲げ装置を設置する時に、前記所定曲げの実行に必要な追加の工具だ

てステージを設置することよりなるシステム。

27. 請求項 20 に記載のシステムであり、

所定曲げの前記 1 つ以上の操作が、前記所定曲げの実行前に前記ワーク上での前記グリッパの掴みを再位置決定することよりなるシステム。

28. 請求項 18 に記載のシステムであり、

前記提案手段と前記生成手段が集合的に曲げシーケンス計画作成モジュールを備え、更に前記サブ計画手段と前記概算手段が集合的に複数のエキスパート・モジュールを備えるシステム。

29. 請求項28に記載のシステムであり、

各前記エキスパート・モジュールが、前記一連の操作における前記m番目の操作を実行するための提案された操作を前記提案手段が提案する時、前記サブ計画手段と前記概算手段を動作させる手段を備えるシステム。

30. 請求項28に記載のシステムであり、

前記複数のエキスパート・モジュールが、前記曲げシーケンスの前記曲げを実行中に前記グリッパが前記ワークを掴むことが可能な前記ワーク上の位置に関する情報を含む提案された保持サブ計画を提供するため、前記サブ計画手段を動作させる手段を有する保持エキス

パート・モジュールを備えるシステム。

31. 請求項28に記載のシステムであり、

前記複数のエキスパート・モジュールが、所定曲げの実行前に前記ワーク上のグリッパの掴みが再位置決定されるべきかどうかに基づき算出される保持コストを概算するため、前記概算手段を動作させる手段を有する保持エキスパート・モジュールを備えるシステム。

32. 請求項28に記載のシステムであり、

前記複数のエキスパート・モジュールが、所定曲げを実行するため、前記ワークが前記曲げ装置内にロードされる工具だけステージに沿った位置に関する情報を含む提案された工具だけサブ計画を提供するため、前記サブ計画手段を動作させる手段を有する工具だけエキスパート・モジュールを備えるシステム。

33. 請求項28に記載のシステムであり、

前記複数のエキスパート・モジュールが、前記曲げ装置の設置の時、所定曲げの実行に必要な追加の工具だけステージを設置する時間に基づき、コストを概算する前記概算手段を動作させる手段を有する工具だけエキスパート・モジュールを備えるシステム。

34. 請求項28に記載のシステムであり、

前記複数のエキスパート・モジュールが、前記ワークを曲げの工具だけステー

ジ位置から次の曲げの工具までステージ位置まで移動するのに要する算出走行時間に基づき、コストを概算するため前記概算手段を動作させる手段を有する運動エキスパートを備えるシステム。

35. 請求項28に記載のシステムであり、

前記曲げシーケンス計画作成モジュールが、サブ計画及び概算コストについて各前記エキスパート・モジュールに質問をする手段を備え、各前記エキスパート・モジュールが、前記曲げシーケンス計画作成モジュールに保存リストを返却することにより、質間に答える手段を備え、前記保存リストが、前記曲げシーケンス計画作成モジュールにより保存される、属性名とそれぞれ前記属性に対応する値のリストを備えるシステム。

36. 請求項1に記載のシステムであり、

前記ワークの幾何形状に基づき判定される曲げヒューリスティックに従い、提案された曲げを優先順位付けする優先順位付け手段を更に備えるシステム。

37. 請求項36に記載のシステムであり、

前記生成手段が、前記優先順位付けされ、提案された曲げと各提案された曲げに伴う前記提案されたサブ計画に基づき、前記一連の曲げにおいて各曲げを選ぶこと

により、第1からN番目までの一連の曲げを含む計画を生成するシステム。

38. 請求項18に記載のシステムであり、

前記ワークの幾何形状に基づき判定される曲げヒューリスティックに従い、提案された曲げを優先順位付けするための優先順位付け手段をさらに備えるシステム。

39. 請求項38に記載のシステムであり、

前記優先順位付け手段が、高い優先順位を有する曲げの概算コストを割り引きし、低い優先順位を有する曲げの概算コストを割り高かにする手段を備えるシステム。

40. 請求項1に記載のシステムであり、

前記生成された計画に基づき、前記曲げ装置で1つ以上のパーツを製造するた

めに必要な時間と、実行可能性を判定するための判定手段を更に備えるシステム。

○  
4 1. 請求項 4 0 に記載のシステムであり、

前記判定手段により判定される時間に基づき、前記パーツの所定パッチを製造するコスト計算を実行するための手段を更に備えるシステム。

4 2. 請求項 4 0 に記載のシステムであり、

前記判定手段が判定する時間及び実行可能性判定に

に基づき、前記パーツを再設計するための手段を更に備えるシステム。

4 3. 請求項 4 0 に記載のシステムであり、

1つ以上のパーツ製造に対する判定時間に基づき、前記曲げ装置による製造の予定を作成する手段を更に備えるシステム。

4 4. 少なくとも1つのプロセッサとメモリを有するコンピュータにおける、可鍛性材板からなる曲げ非完成ワークの曲げ装置により利用されるワーク保持グリッパを選択する方法であり、

そこから選ばれる1ライブラリのグリッパの幾何形状を説明する情報を読み出し；

ある望ましくない幾何形状特徴を有するグリッパを除き、1セットの有効グリッパを形成し；

前記1セットの有効グリッパからグリッパを、前記グリッパの幅、長、ナックル高の関数として選ぶ、

工程より構成される方法。

4 5. 請求項 4 4 に記載の方法であり、

前記グリッパが、曲げ操作を実行するために、前記ワークを前記曲げ装置のダイ空間にロード・アンロードする間に、前記ワークを保持するグリッパを備える方法。

4 6. 請求項 4 5 に記載の方法であり、

前記1セットの有効グリッパ内の各グリッパに対して、前記ワーク上で完全な

一連の曲げ操作を実行するため、前記グリッパが前記ワークを保持している前記位置を前記曲げ装置が変更する概算回数に等しいレボ数を予想し；

最小の予想レボ数を判定し；

グリッパを、そのグリッパの幅、長、ナックル高の関数として選ぶ前に、前記最小予想レボ数に等しいレボ数を有する有効なグリッパを含むよう、前記1セットの有効グリッパを調整する、  
工程より更に構成される方法。

47. 請求項44に記載の方法であり、

前記グリッパが、前記ワーク上でロボットがその掴みを変更する間に、前記ワークを保持するレポ・グリッパを備える方法。

48. 請求項47に記載の方法であり、

前記曲げ装置によりレボ操作が実行される時、前記ワークの各中間形状のデータ表示を構築し；

前記中間形状を利用し、前記1セットの有効グリッパからどのグリッパが除外されるかを判定する、工程から更に構成され、

前記ワークを確実に掴むことができないグリッパが、

構築された全ての中間形状表示を考慮し、前記1セットの有効グリッパから除外される方法。

49. 少なくとも1つのプロセッサとメモリを有するコンピュータにおいて、曲げ装置が可鍛性板金ワーク上でm番目の操作を実行する間に、グリッパが前記ワークを保持可能な前記ワーク上の位置であるグリッパ位置を判定する方法であり、前記曲げ装置が、曲げ計画に従い、前記m番目の操作を含む一連の操作を実行し、前記一連の操作が、第1曲げからN番目までの一連の曲げより構成され、前記ワークの形状が、前記曲げ装置の前記一連の曲げを通じての進行に従い幾つかの中間形状に変更され、

iが、前記m番目の操作に達し、それを含む前記一連の操作において、所定複数の操作を含むよう変化される時、1番めの操作が実行される時、前記ワークの中間形状を考慮に入れ、前記グリッパ位置が、前記i番目の操作実行を妨害する

ことなくその中に位置決定可能な前記ワーク上の領域のグラフィック表示を、前記ワークに沿って繰返し生成することにより、1セットの形態表示を形成し；  
前記セット内の全ての前記グラフィック表示の交差を判定し、それにより前記一連の操作における前記所定複数の操作に共通な領域を判定する、  
工程より構成される方法。

50. 請求項49に記載の方法であり、

前記m番目の操作が、前記一連の曲げ間で、前記ワーク上のロボットの掴みを変更することよりなる方法。

51. 請求項49に記載の方法であり、

前記m番目の操作が、前記一連の曲げ操作における曲げを実行することよりなる方法。

52. 少なくとも1つのプロセッサとメモリを有するコンピュータにおいて、可鍛性材板金よりなるワークを曲げる曲げ装置で使用される工具だけを選択する方法であり、前記工具だけが、少なくともダイ及びパンチを含み、前記曲げ装置が、前記選択された工具だけを利用し、第1曲げからN番目の曲げまでの一連の曲げよりなる一連の操作を実行し、

1ライブラリのダイ及びパンチの幾何形状を説明する情報を読みだし；

前記ワークを曲げるのに十分な力容量を有さず、前記ワークに所望の曲げを形成し、結果的に所望の曲げ角度、所望の内半径を生成することができないダイ及びパンチを除外し、実行可能なダイ、パンチのセットを形成し；

幾何形状衝突試験の不良により判定されるような、前記ワークと衝突しそうなパンチを除外し、力、曲げ角度、内半径等の必要条件を最も密接に満足する適当なダイ

及び適当なパンチを選ぶ、  
工程より構成される方法。

53. 請求項52に記載の方法であり、

前記幾何形状衝突試験が、完成3次元ワークをモデル化し、前記一連の曲げで

の各曲げに対し、各実行可能なパンチのモデルと選ばれたダイのモデル間で前記  
モデル化された3次元ワークを一致させることにより、実行される方法。

54. 少なくとも1つのプロセッサとメモリを有するコンピュータにおいて、曲  
げ装置のダイ・レールに沿って工具だけステージのレイアウトを判定する方法で  
あり、前記曲げ装置が、第1曲げからN番目の曲げまでの一連の曲げよりなる一  
連の操作を実行することにより、可鍛性材板金よりなるワークを曲げるよう改良  
され、

前記ダイ・レールに沿って複数のステージ配置を決定し；

前記一連の曲げの曲げにおいて、前記ワークが工具だけの側面端を越えて伸び  
る量に基づき、水平限度を算出し；

隣接側面端の判定された最大水平限度の大きい方以上、或は等しい前記隣接側  
面端間隙を有するよう、隣接配置されるステージを一定間隔で配置する、  
工程より構成される方法。

55. 計画を生成し、曲げ装置を制御するシステムであり、前記計画が、前記曲  
げ装置により実行される一連の操作からなり、前記曲げ装置が、可鍛性材板金か  
らなるワークを曲げるため改良され、前記一連の操作が、可鍛性材のストック板  
金から完成ワークを形成するため、第1からN番目までの一連の曲げからなり、  
前記一連の曲げと、前記一連の曲げにおける第1曲げを開始する前に、前記曲  
げ装置を設置する方法に関する情報を含む設置サブ計画を生成する設置計画作成  
手段と；

一旦生成された前記設置サブ計画を、前記設置サブ計画に従い実行される設置  
操作の開始を伝える伝達手段に送る送付手段と；

前記設置サブ計画の生成後、前記計画を完成させるために詳細なサブ計画情報  
を生成する最終化手段、とを備え、前記詳細なサブ計画情報の少なくとも一部が  
、前記伝達手段により設置操作開始が伝えられた後に生成されるシステム。

56. 請求項55に記載のシステムであり、

前記設置サブ計画が、工具だけステージのレイアウトに関する情報よりなるシ  
ステム。

57. 請求項55に記載のシステムであり、

前記設置サブ計画が、前記曲げ装置で利用される工具だけダイ、パンチ・プロファイルに関する情報よりなるシステム。

58. 請求項55に記載のシステムであり、

前記設置サブ計画が、前記曲げ装置のダイ・レールに沿った工具だけステージの位置よりなるシステム。

59. 請求項55に記載のシステムであり、

前記設置サブ計画が、前記曲げシーケンスを通して前記ワークを動かすのに使用されるグリッパ形態に関する情報よりなるシステム。

60. 請求項55に記載のシステムであり、

前記設置サブ計画が、グリッパが前記曲げシーケンスの曲げ間で前記ワーク上でのその掴みを変更する間に、前記ワークの保持に使用されるレポ・グリッパの形態に関する情報よりなるシステム。

61. 請求項55に記載のシステムであり、前記送付手段が、前記曲げ装置上の自動設置操作の実行を指示する手段よりなるシーケンサ・モジュールに指示を送る手段を備えるシステム。

62. 請求項55に記載のシステムであり、

前記送付手段が、人間であるオペレータが設置操作を実行できるよう、前記曲げ装置上で実行される設置操作の視覚的表示を作成するための手段を備えるシステム。

63. 曲げ装置を利用し、可鍛性材板金よりなるワーク上で曲げ操作が実行できるよう、前記曲げ装置で設置操作を実行するシステムであり、前記曲げ装置が、ダイ・レール、工具パンチ保持機構、1つ以上の工具だけステージを備え、各工具だけステージが、前記ダイ・レール上に載置されるダイと、前記パンチ保持機構により保持される工具パンチを備え、

前記ダイ・レールに沿った前記1つ以上の工具だけステージのそれぞれの位置に関する情報を受け取る手段と；

前記ダイと前記工具パンチの少なくとも1つがガイド部材と一致し、結果的に前記工具だけステージが前記ダイ・レールに沿った所望の位置になるよう、前記受け取った情報に基づき、前記ダイ・レールと前記工具パンチの少なくとも1つに沿って前記ガイド部材の位置を制御する制御手段、

とを備えるシステム。

64. 請求項63に記載のシステムであり、

前記制御手段が、前記ガイド部材を前記ダイ・レールの沿った所定位置に、また前記ダイ・レールから一定距

離内に位置決定する手段を備え、それにより一致されるべき工具だけステージのダイが、前記ダイ・レールに沿って前記工具だけステージを適切に位置決定するため、前記ガイド部材に当接可能となる、システム。

65. 請求項63に記載のシステムであり、

前記ガイド部材が、ワークを前記曲げ装置にロードする時、バックゲージを実行するための機能のバックゲージ・フィンガを備えるシステム。

66. 可鍛性材板金よりなるワークを曲げるための曲げ装置を制御する計画を実行するシステムであり、前記計画が、前記曲げ装置により実行される一連の操作からなり、

ワークのある位置から別の位置への移動を含み、センサ出力を利用し前記ワークの移動を修正し、前記曲げ装置での操作を実行するためのセンサ・ベース制御手段と；

前記ワークが前記センサ出力も基に修正された量を測定する測定手段と；

前記ワークのある位置から別の位置への移動を含み、センサ出力を利用し前記ワークの移動を修正することなく、前記操作を実行する学習制御手段とを備え、前記学習制御手段が、前記測定手段による測定量に基づき、前記操作の実行を制御する、システム。

**【発明の詳細な説明】****板金曲げ計画の作成・実行用知能システム****発明の背景****1. 著作権通告**

本特許文書開示の一部には、著作権保護の対象となる材料が含まれている。本著作権所有者は、特許・商標局の特許ファイル、或は記録内に記載される本特許開示の複写再生に何ら反対するものではなく、誰でも複写再生可能であるが、それ以外は如何なる場合でもその全ての著作権を保有するものである。

**2. 関連出願データ**

本開示は、以下に示す本発明と同日付の米国特許出願による開示に関するものである。「ロボット運動の計画・制御方法」、デービッド・アラン・ブーン、その他(米国特願第08/338,115)、「曲げ操作のバックゲージング及びセンサベースの制御方法」、デービッド・アラン・ブーン、その他(米国特願第08/385,829)、「フィンガパッド力の検知システム」、アン・M・マレー、その他(米国特願第08/338,095)。

**3. 利用分野**

本発明は、知能的曲げ板金の設計、計画、製造システム等に供される方法及びサブシステムに関する。

**4. 背景技術**

図1乃至図3は、ワークステーション内に設けられる様々な制御装置にダウンロードされる手動作成プログ

ラムの制御のもとで板金部(製作作品)16を曲げるための従来の曲げワークステーション10の例を簡単に示すものである。図示の曲げワークステーション10は、BM100アマダ・ワークステーションである。

**(a)ハードウェアとその操作**

図1は、曲げワークステーション10全体を簡単に示す図である。図2は、ワーク16に対して曲げを実行するために位置決定されるプレスブレーキ29を示す部分図である。図2に示す要素には、ワーク16を掴むロボット・アーム・グ

リッパ14を有するロボット・アーム12、パンチ・ホルダ20により保持されるパンチ18、ダイ・レール22上に載置されるダイ19が含まれる。パンチ18とダイ19の左側にはバックゲージ機構24が示されている。

図1に示すように、曲げワークステーション10には、4個の重要な機械的構成要素が含まれる。即ち、曲げワーク16用のプレスブレーキ29、プレスブレーキ29内でワーク16を取り扱うと共に位置決定を行う5自由度(5DOF)ロボット・マニュピュレータ(ロボット)12、ロボット12が掴める場所に未完成ワークをロードすると共に位置決定をし、また完成ワークをアンロードする材料ローダ・アンローダ(L/UL)30、ロボット12がその掴みを変更する間、ワーク16を保持するための再位置決定グリッパ32である。

プレスブレーキ29には、図1乃至図3に示すように

数種の構成要素が含まれる。図3において、プレスブレーキ29には、ダイ・レール22上に載置される少なくとも1つのダイ19、及びパンチ工具ホルダ20に保持される対応する少なくとも1つのパンチ工具18が含まれる。プレスブレーキ29には、更にバックゲージ機構24も含まれる。

図2に示すように、ロボットアーム12には、ワーク16を掴むために使用されるロボット・アーム・グリッパ14が含まれる。図1に示すように、材料ローダ・アンローダ30には、板金ワーク16を持ち上げるための上方向吸引力を生成する数種の吸引カップ31が含まれ、それによりL/UL30によるロボット12のグリッパ14へのワーク16の送出を可能とし、続いてグリッパ14からの完成ワーク16の回収、完成ワーク16のアンロードが可能となる。

操作において、ローダ・アンローダ(L/UL)30は、容器(図示せず)から未完成ワーク16を持ち上げ、ロボット12のグリッパ14により掴まれる位置に上げて移動する。次に、ロボット12は、曲げワークステーション10内に位置する特定曲げステージに対応する位置に自身操縦移動する。各図1、3において、ステージ1はプレスブレーキ29の極左部のステージより構成され、ステージ2はダイ・レール22に沿ってステージ1の右側に位置する。

ステージ1で最初の曲げが行われる場合、ロボット1

2はワーク16をステージ1に移動し、図2に示すように、バックゲージ機構24の安全装置部に達し接触するまで、ワーク16をプレスブレーキ29内においてパンチ工具18とダイ19間の場所で操作移動させる。バックゲージ機構24に支援され、ワーク16の位置はロボット・アーム12により調整される。次に、ステージ1でワーク16に対して曲げ操作が行われる。曲げ操作中、ダイ・レール22は、図2の矢印方向Aが示す上方に移動する(D軸に沿って)。ワーク16がプレスブレーキ29内の比較的安定した場所に位置決定されるよう、パンチ工具18とダイ19が同時にワーク16に当接する時、グリッパ14はワーク16に対するその掴みを開放し、ロボット12はグリッパ14をワーク16から遊離させる。次に、プレスブレーキ29は、適切な曲げが形成されるまでダイ19を上方移動させ、完了すると、ワーク16の曲げを終結させる。

ワーク16をその曲げ状態に保持しつつダイ19をパンチ工具に対して一旦係合した後、プレスブレーキ29を下げるによりダイ19の係合を解く前に、ロボット・アーム12は、ワーク16を保持するため、そのロボット・アーム・グリッパ14を再び位置決めする。グリッパ14がワーク16を保持すると、ダイ19はプレスブレーキ29を開放することによりその係合が解かれる。ロボット12は、次に、ワーク16用にプログラムされた特定曲げシーケンスで次の曲げを実行する

ため、ワーク16を操作移動し、その位置を再決定する。曲げシーケンス内の次の曲げは、実行される曲げ形態、プレスブレーキ29内に設けられた道具だけに応じ、同ステージ、又はステージ2等の異なるステージのいずれにおいても行われ得る。

実行される次の曲げやワーク16の構成に応じ、グリッパ14の掴み位置も再決定される必要がある。図1に示すように、この目的のため再位置決定グリッパ32が設置される。ロボット・グリッパ14の再位置決定が必要である次の曲げの実行前に、ワーク16はロボット12により再位置決定グリッパ32に移動される。次に、再位置決定グリッパ32は、ロボット・グリッパ14が次の曲げ、或は一連の曲げに適切な場所でワーク16を再び掴めるよう、ワーク16を掴む

◦  
(b)制御システム

図1に示す曲げワークステーション10は、MM20-CAPSインターフェース40、プレスブレーキ・コントローラ42、ロボット・コントローラ44、ロード・アンロード装置コントローラ46を含み、別個に収容される数種の制御装置により制御される。プレスブレーキ・コントローラ42はNC9Rプレスブレーキ・コントローラから構成され、ロボット・コントローラ44は25Bロボット・コントローラにより構成される。これらは、アマダ社提供によるものである。プレスブレーキ・コントローラ42、ロボット・コントローラ44はそれ

ぞれ自身のCPU、プログラミング環境を有する。ロード・アンロード装置コントローラ46はスタンダードアロン型のプログラマブルロジックコントローラ(PLC)を備え、プレスブレーキ42とロボット・コントローラ44用に設けられた各コンソールにワイヤ接続される。

コントローラ42、44、46は、それぞれ異なる様式のバス、アーキテクチャ、マニュファクチャラを有する。これらは、主にパラレルI/O信号により調整される。それぞれ異なる方法でプログラム化される複数のコントローラに曲げ・ロボットプログラムを送るため、複数のシリアルインターフェースが設けられている。例えば、ロード・アンロード・コントローラ46のPLCをプログラムするために論理図が使用され、ロボット・コントローラ44のプログラム化にはRMLが使用される。

(c)設計・製造プロセス

板金曲げの全体的設計・製造プロセスには、幾つかの処理工程が含まれる。まず、製造されるべきパーツが、一般に適当なCADシステムが利用されて設計される。次に、使用されるべき工具だけや実行されるべき一連の曲げを定める計画が作成される。必要な工具だけが決定されると、オペレータは曲げワークステーションの設置を開始する。ワークステーションの設置後、計画が実行される、即ち、ワークがロードされ、未加工板金ワーク上に完全な一連の曲げを形成するよう曲げワークステーションの操作が制御される。曲げワークステーション

の初期操作の結果が、次に設計処理工程にフィードバックされ、そこでシステムの実際の操作を見て、該パーツの設計に適切な修正が加えられる。

計画の処理工程では、システムを一連の曲げ操作を実行するよう構成するため、曲げワークステーション10についての計画が作成される。適当なダイ、パンチ工具、グリッパ等を含む必要なハードウェアの選択が行わなければならない。また、曲げワークステーション10で実行されるべき曲げの順序及び選択を含む曲げシーケンスも決定する必要がある。他のパラメータと共に、ハードウェアを選択したり曲げシーケンスを決定する際に、曲げワークステーション10が自動的に曲げ工程の様々な操作を実行できるよう、曲げワークステーション10を操作するためのソフトウェアが生成される。

BM100曲げワークステーションについての計画には、NC9Rプレスブレーキ・プログラム、25B RMLロボット・プログラム等のソフトウェア生成が含まれる。これらの各プログラムは、CADシステムから作成される初期部分設計を使用して作成される。ロボット・プログラム、曲げプログラムの両方とも手動で作成せねばならず、極めて労働集約的である。前に作成されたプログラムは、曲げ数及び／又は曲げ方向により分類されている。エンジニアは各パーツのスタイルを検査し、前に作成され、分類されたプログラムが使えるか、或は新しいプログラムを作成しなければならないか判断す

る。しかし、一般に、各分類化されたプログラムは、狭い範囲の容認できる部分寸法しか支持しないため、エンジニアは新しいプログラムを書かなければならぬことが度々である。完成した最終的なRMLロボット・プログラムは編集され、MM20-CAPSシステム40によりロボット・コントローラ44にダウンロードされる。曲げプログラムは入力され、プレスブレーキ・コントローラ42に設けられた制御ペンドント上でデバッグされる。ロボット及び曲げプログラムのシステム内への入力後、オペレータは、幾つかの手動操作を行い、実行されるべき数種の操作によりシステムを稼働させる。例えば、オペレータは、ロボットを手動でロード・アンロード位置まで移動するため、ロボット・コントローラの手に保持したペンドントを手動操作する。その後、インターフェース・コンソール

40が、編集されてロボット・コントローラ44にダウンロードされる最終的RMLプログラム内に、その適切な位置を記憶する。また、曲げプログラムの作成の際、オペレータは、バックゲージ位置(L軸)とダイ・レール位置(D軸)の値を判定するため、計画の曲げシーケンスに従うようシステムを制御する。

#### (d)知能製造ワークステーション

BM100アマダ曲げワークステーション等の従来システムの欠点の多くを克服するため、様々な提案がなされ、知能製造ワークステーションの領域での研究も行

われてきている。知能板金曲げワークステーションの提案された特徴の幾つかには、オープン・システム構成、配分意思決定を含むオープン・アーキテクチャ、改良化コンピュータ支援設計、及び幾何形状モデル化システム等の特徴を含んだものもあった。

1992年11月13日、プロセス知識ベースのオートメーションに関する1992年ASME冬季年次総会において、デビッド・アラン・ブーンにより「知能製造ワークステーション」という文書が提示された。その文書の全内容を以下参照という形で記載する。該文書において、知能製造ワークステーションは、パーツに対して新しい設計を図ると共にそれを自動的に製造する独立式システムとして定義されている。その処理工程は、自動設定、パートプログラミング、制御、設計へのフィードバックを含むものとして記載されている。

該文書では、オープン・アーキテクチャ、質問形態の言語を介して対話するソフトウェア・モジュールの利用、パーツ設計、操作計画、ワークステーション制御、幾何形状モデル化等の特徴を含め、知能製造ワークステーション全体の数種の構成要素が論じられている。

#### (1)オープン・アーキテクチャ

効果的知能製造ワークステーションとなるには、オープン・ソフトウェア、オープン・コントローラ、オープン機構アーキテクチャを含む必要があることが認識されてきている。即ち、このようなワークステーションを

操作する工作機械ユーザは、その機能を向上するため、ソフトウェア上にワークステーションのコントローラ及び機構アーキテクチャを付加できなければならぬ。

#### (2) 質問形態言語を利用するソフトウェア・モジュール

前記デービッド・ブーンによる文書では、知能製造ワークステーションで使用されるソフトウェア・モジュールが提案されている。このようなモジュールは、工具だけ、操作、プログラミング、計画、設計等を含め、産業上定義される知識境界に沿って分割される。ソフトウェア・モジュールは、命令及びデータ仕様を理解したり、独自の専門領域での質問に答える役割を果たす。ある特定モジュールを、その指定問題を解決できるよう他のモジュールに十分な情報を要求し、標準の言語で伝達し、同時にいくつかの問題に取り組むことができる構成としてもよい。更に、各モジュールは、何の情報を他のどのモジュールに要求したらよいか知っており、受ける側のモジュールに対する質問の作成も支援するものである。上述の文書内で提案されている一般的なソフトウェア・アーキテクチャが、図4に示されている。提案のアーキテクチャには、デザイナ50、曲げシーケンス・プランナ52、シーケンス計画、実行、エラー処理用のモジュール54、モデル56、センサ解釈用のモジュール58、プロセス制御、保持、固定用のモジュール60、62が含まれる。センサ解釈用モジュール58、プロセ

ス制御用モジュール60、保持、固定用モジュール62は、それぞれ外部機械とセンサ・ドライブ64に結合されている。制御サブシステム68は、シーケンス計画、実行、エラー処理モジュール54、モデル56、センサ解釈モジュール58、プロセス制御モジュール60、保持、固定モジュール62を含むいくつかのモジュールにより形成される。制御サブシステム68は、キメラ・オペレーティング・システム内で実施されるものとして示されている。モジュールは全て、予定作成、操作、プロセス計画用のシステムを含む他の工場システム66に接続される。

#### (3) 設計工具

前記参照文書内で記載したように、また以下その全内容を参照という形で記載

するC・ワングによる「板金パーツの並行デザイナ」(機械工学修士レポート、カーネギー・メロン発行、1992年)が開示するように、板金曲げに適用されるものであって、未加工パーツと最終パーツ間の関係を絶えず管理する設計工具に関して実験が行われて来た。3次元、或は2次元平面パターンで記述される設計情報は、作成部分の別の表示と共に(並行して)自動的に保持される。このようにして、初期の未加工パーツの各特徴と最終パーツ間の関係が保持される。

#### (4)計画作成システム

設計の完了後、一般的には、プランナは、後に製造処理工程の実行で使用される計画を作成する。この計画に

は、所望のパーツを製造するための機械操作のシーケンスに関する数種の指示が含まれる。計画が最適であれば、結果的に設置時間の削減、パーツ製造後の廃棄物量の削減、パーツ品質の向上、生産率の上昇が達成される。このような利点を広めるために、上述の記文書では、プランナが容易に様々な機械、処理工程に適応できるよう、プランナからできるだけ多くの具体的知識を取り除くことを推奨している。従って、プランナの強調を自己充足的な専門家としての役割よりもむしろ専門的質問をすることに移行させる、「質問形態」の計画作成システムが提唱されている。

#### (5)ワークステーション制御

上述の文書では、コントローラが、中核的計算手段として既製の工学UNIXワークステーションを使用することを提案している。このワークステーションは、そのバックプレーンに専用ボードの拡張ラックと、キメラII(CHIMERA-II)と呼ばれるUNIXオペレーティング・システムの実時間バージョンと共に走る追加のCPUが含まれる。これは、例えば、スチュワート、その他による「キメラII：センサベースの制御アプリケーション用実時間UNIX互換マルチプロセッサ・オペレーティング・システム」、カーネギー・メロン発行ロボット工学研究所技術レポート、CMU-R I - T R - 89-24(1989年)に記載する通りである。以下、その全内容を参照という形で記載する。

### (6)幾何形状のモデル化

幾何形状のモデル化は、知能機械加工ワークステーションにおいて重要な構成要素である。カーネギー・メロン大学のロボット工学研究所におけるプロジェクト期間中に、数種のモデルが実験されている。知能製造ワークステーションでのモデルとして使用するため、「ヌードルズ(NOODLES)」と呼ばれる幾何形状モデルが提案されている。ヌードルズ・モデルについては、GURSOZ、その他による「非多様境界表示物上でのプール設定操作」、コンピュータ支援設計、第23巻1号、1991年1月Butterworth-Heinemann社発行、に記載する通である。以下、その全内容を参照という形で記載する。ヌードルズ・システムでは、有効エッジ形態の構成に関する前提が更に減少し、よって幾何形状モデルのエッジ形態がシステムの前提に違反する時、無限ループに入ってしまう他のモデル化システムの問題が克服される。

### 5. 用語の定義

本発明を明確にし、読者の理解を支援するため、本文書で使用される用語、頭字語を次に定義する。

曲げ装置／曲げワークステーション—曲げ操作を含む最近の板金加工機能を実行するためのワークステーション、或は装置。

可鍛性材曲げ板—限定するわけではないが、上方空気曲げ、V曲げ、R曲げ、ヘミング、シーミング、コイニ

ッグ、ボトミング、フォーミング、ワイピング、折曲げ式曲げ、注文曲げ等を含む可鍛性材板の加工。

操作計画—1個の未完成材から完成パーツを形成するため、パーツ形成装置により実行される一連の操作。曲げシーケンス計画作成の文脈では、操作計画（曲げシーケンス計画）は、可鍛性材板より成るワークを曲げるための曲げ装置により実行される一連の操作より構成され、該一連の操作には、完成曲げワークを形成するのに必要な全ての曲げを含む曲げシーケンスが含まれる。

サブ計画—完全な操作計画の一部。曲げシーケンス計画作成の文脈では、サブ計画は、曲げワークステーション／装置を設置及び／又は制御するのに必要な情

報の一部より構成される。

### 発明の概要

本発明は前記を鑑みなされたものであり、その様々な態様及び／又は実施例の1つ以上を通し、以下に記載する目的及び利点の1つ以上が達成されるものである。

一般的に言えば、本発明の目的は、容易に改良されると共に、追加の、或は代わりのハードウェア、ソフトウェア・モジュールと統合される知能曲げワークステーション環境／システムを提供することである。本発明の更なる目的は、高品質及び短時間で極めて小さいバッチ・サイズを経済的に生成するために使用可能なシステムを提供することである。また、柔軟性に富み、設計・製造処理工程に新しくまた異なるパーツスタイルを収容

可能なシステムの提供も本発明の目的である。本発明のシステムは、大量生産において効率的に動作し、効率性の最大化のために初期生行程から学べることを意図したものである。

本発明の更なる目的は、製造されるパーツの品質を全処理工程を通して維持し、曲げワークステーションによる処理工程実行中のエラー、衝突を避けることである。C A Dの記述から小規模バッチの板金パーツを作成する知能板金曲げワークステーションを提供することも本発明の更なる目的である。この点に関して、曲げワークステーションによる利用に必要なハードウェア（例、ダイ、パンチ、グリッパ、センサ）を選択し、曲げシーケンスを決定し、曲げ機械を操作するのに必要なソフトウェアを作成する処理工程プランナが設置される。

本発明の更なる目的は、まず処理工程計画を作成し、次に実時間センサベースの制御方法を使用する作成計画を実行する知能的自動化曲げワークステーションを提供することである。その処理工程が実行される際に、より効率的となるようその処理工程が洗練され、また実行中にエラーの発生が減少するよう、その結果は後に検討できるよう記録される。

本発明の更なる目的は、最小数の工具だけ段階を利用してパーツの製造が行われる、板金ワークの曲げ計画を作成可能なシステムを提供することである。曲げ

ワークステーションにより利用される該計画を効率的、且つ自

動的に作成し、ワークステーションを設置し、該計画を実行するシステムを提供することも本発明の更なる目的である。

従って、本発明は、可鍛性材板より成るワークを曲げるための曲げ装置により実行される一連の操作より構成される計画を作成するシステムに関連して設置される数種のシステム、方法、サブ構成要素の提供を意図したものである。曲げ装置は、曲げ実行中にワークを掴むためのグリッパを有し、一連の操作には、可鍛性材の元の板から完成ワークを形成するための1セットのN曲げが含まれる。システムには、一連の操作内のm番目の操作に対して、装置により実行される複数の提案された曲げを含む複数の提案された操作を提案する提案機構が含まれる。更に、システムには、各提案された曲げに伴う提案サブ計画を提供するサブ計画機構、提案された曲げと各提案の曲げに伴う提案のサブ計画に基づき一連の操作において各曲げを選ぶことにより、1番目からN番目の曲げまでの一連の曲げを含む計画を作成する作成機構も含まれる。

提案機構は、まだ残っている完全なセットのN曲げの中からの曲げを提案し、或は制限によりまだ不十分な曲げとして残っている完全なセットの曲げの中からの曲げを提案するよう設計されている。更に、提案機構は、m番目の操作に対して、ワーク上のグリッパ掌握の再位置決定も提案する。

本発明のある特定の態様によれば、作成された計画には、選ばれた曲げに伴う提案のサブ計画の少なくとも一部が更に含まれる。システムには、更にサーチ・ツリーの第mレベルとしてm番めの操作を表す機構も含まれる。提案のサブ計画には、曲げ装置の設置及び制御情報が含まれ、曲げシーケンスの曲げ実行中にグリッパがワークを掴むワーク上の最終位置により更に構成される。提案のサブ計画には、曲げシーケンスの曲げ実行中にグリッパがワークを掴むことができるワーク上の位置範囲が更に含まれる。また、提案されたサブ計画は次の項目より構成される。つまり、一連の曲げを完了するのに必要なグリッパの再位置決定予想数を示す数、グリッパがまず最初に再位置決定されなければシーケンスにおける

次の曲げが実行できないことの指示、及び／又は再位置決定操作中に再位置決定グリッパが（即ち、レポ・グリッパ）ワークを掴むワーク上での位置。更に、提案されたサブ計画には次の項目が含まれる。つまり、曲げシーケンスでの曲げ実行に利用される工具だけステージ、曲げを実行するため、ワークが曲げ装置にロードされる工具だけステージに沿った位置、及び／又は曲げ実行で工具だけステージの回りを操作移動する運動計画。

システムの更なる態様によれば、各提案の曲げ関連のコストを概算する概算装置が設置される。この点に関して、作成機構が、提案された曲げ、各提案の曲げに伴う提案されたサブ計画、各提案の曲げに関連する概算コス

トに基づき一連の操作において各曲げを選ぶことにより、1番目からN番目の曲げまでの一連の曲げを含む計画を作成する。一連のN曲げでのN番目の曲げ関連の概算コストは、曲げ装置が1回以上の曲げ操作を完了するのに要する概算時間に基づき算出される  $k$  コストにより構成される。一連のN曲げでのN番目の曲げに関連する概算コストは、該N番目の曲げに続く曲げシーケンスにおける各残りの曲げに関して、曲げ装置がその1回以上の操作を完了するのに要する概算合計時間に基づき算出される  $h$  コストにより構成される。

$k$ 、 $h$  コストを算出するために時間設定される1回以上の曲げ操作は、前の曲げ工具だけステージ場所から所定曲げの工具だけステージ場所へのワークの移動により構成される。また、所定曲げの1回以上の操作には、曲げ装置設置の時、所定曲げの実行に必要な追加の工具だけステージを設定することも含まれる。所定曲げの1回以上の操作には、また、その所定曲げの実行前に、ワーク上のグリッパ掌握の再位置決定も含まれる。

本発明の更なる態様によれば、提案機構と作成機構は、集合的に曲げシーケンス計画作成モジュールを備え、サブ計画機構と概算機構は、集合的に複数のエキスパート・モジュールを備える。各エキスパート・モジュールは、提案機構が一連の操作においてm番目の操作として実行するために提案された操作を提案する時、サブ計画機構と概算機構を動作させる。複数のエキスパート・モ

ジユールは、曲げシーケンスの曲げ実行中にグリッパがワークを掴むことができるワーク上の位置に関する情報を含め、提案されたサブ計画を提供するようサブ計画機構を動作可能な保持エキスパート・モジュールを備える。複数のエキスパート・モジュールは、所定曲げを実行する前にワーク上のグリッパの掌握を再位置決定すべきかどうかに基づき算出される保持コストに関して、概算を出すよう概算機構を動作可能な保持エキスパート・モジュールを備える。更に、複数のエキスパート・モジュールは、所定曲げを実行するためワークが曲げ装置にロードされる工具だけステージに沿った位置に関する情報を含む提案の工具だけサブ計画を提供するよう、サブ計画機構を動作可能な工具だけエキスパート・モジュールを備える。工具だけエキスパートは、曲げ装置を設置する時、所定の曲げを実行するのに必要な追加の工具だけステージを設定する時間に基づき、コストを概算するよう概算機構を動作させることも可能である。運動エキスパート・モジュールは、ワークをある曲げの工具だけステージ位置から次の曲げの工具だけステージ位置に移動させるための算出走行時間に基づき、コストを概算するよう概算機構を動作させることも可能である。

本発明の更なる態様によれば、曲げシーケンス計画作成モジュールは、サブ計画及び概算コストについて各エキスパート・モジュールに質問することが可能である。

更に、各エキスパート・モジュールは、曲げシーケンス計画作成モジュールに保存リストを返却することにより質問に答えることができる。保存リストには、曲げシーケンス計画作成モジュールに保存される属性名、属性にそれぞれ対応する値のリストが含まれる。

本発明の更なる態様として、システムには、ワークの幾何形状に基づき決定される曲げヒューリスティックに従い提案された曲げの優先順位を決定する優先順位決定機構が含まれる。作成機構は、優先順位が付けられた提案の曲げ、各提案の曲げに伴う提案のサブ計画に基づき、一連の操作において各曲げを選ぶことにより、1番目からM番目の曲げまでの一連の曲げを含む計画を作成する。優先順位決定機構には、高い優先順位を有する曲げの概算コストを割引し、優先順位の

低い曲げについてはその概算コストを割増しする機構が設置される。

本発明の更なる態様によれば、作成された計画曲げ装置により1つ以上のパーツを製造するのに要する時間と実行可能性を判断する判断機構が設置される。更に、システムには、判断機構により決定される時間に基づき、所定の1バッチ部分を製造するコスト計算を行う機構が設置される。更に、或は代わって、システムには、判断機構による時間及び実行可能性の判断に基づき、パーツを再設計する機構が設置される。システムには、更に1つ以上のパーツを製造するための判定時間に応じ、曲げ装置による製造予定を作成する機構も設置される。

前記システムに加え、本発明は、ワークを保持するグリッパを選択するコンピュータ化された方法も提供するものである。グリッパは、可鍛性材板より成る未完成ワークを曲げる曲げ装置で利用するために選択される。該方法には、選ばれる1ライブラリのグリッパ幾何形状を説明する情報の読み出し、ある好みしくない幾何形状特徴を有するグリッパを除く、1セットの有効グリッパの形成、1セットの有効グリッパからの1グリッパの選択が含まれる。グリッパは、グリッパ幅、グリッパ長、グリッパ・ナックル高の機能として選ばれる。該グリッパには、ワークを曲げ装置のダイ空間にロード・アンロードする間に、ワークを保持するグリッパが含まれる。この点に関して、該方法には、1セットの有効グリッパ内での各グリッパに対して、ワーク上で完全な一連の曲げ操作を実行するため、グリッパがワークを保持する位置を曲げ装置が変更する概算必要回数に等しいレポ数を予想する処理工程が含まれる。次に、最小予想レポ数が決定され、グリッパ幅、長、ナックル高の機能としてグリッパを選ぶ前(1セットの有効グリッパ間から)、最小の予想レポ数に等しいレポ数を有する有効グリッパを含むよう、1セットの有効グリッパが調整される。

グリッパは、代わりに、ロボットがワーク上でその掌握を変更する間にワークを保持するレポ・グリッパを備えてよい。この点に関し、該方法には、レポ・操作が曲げ装置により実行される時にワークの各中間形状の

データ表示を構築し、中間形状を利用し1セットの有効グリッパからどのグリッ

バを排除するか判断する処理工程が含まれる。ワークを確実に掴めないグリッパは、構築された中間表示全てを考慮し、1セットの有効グリッパから排除される。

前記システム及び方法に加え、本発明は、曲げ装置がワーク上で第m操作を実行する間、グリッパが可鍛性板金のワークを保持できる位置を判断するコンピュータ化された方法を更に提供するものである。曲げ装置は、曲げ計画に従い、m番目の操作を含む一連の操作を実行する。該一連の操作には、1番目からN番目の曲げまでの一連の曲げが含まれ、曲げ装置が一連の曲げ進行中、ワーク形状が数種の中間形状に変化する。1セットの形態表示が、ワークのエッジに沿って、変数 i が変化するのに従い、i 番目の操作実行を阻害することなくグリッパが位置決定可能なワーク上領域のグラフ表示を繰り返し生成することにより形成される。i 番目の操作が実行される時、ワークの中間形状を考慮することによりその i 番目の操作が阻害されるかどうかの判定がなされる。該方法には、該セット内での全てのグラフ表示の交差を判断し、それにより一連の操作における所定複数の操作に共通の領域を判定する処理工程が更に含まれる。m番目の操作には、一連の曲げにおける曲げ間でのワーク上のロボットの掌握変更、及び／又は一連の曲げ内の曲げの実行が含まれる。

前記に加え、本発明は、可鍛性材の板金より成るワークを曲げるための曲げ装置で使われる工具だけを選択するコンピュータ化された方法も提供する。工具だけには少なくともダイ及びパンチが含まれ、曲げ装置は、選択された工具だけを使い、1番目からN番目の曲げまで一連の曲げより構成される一連の操作を実行する。該方法は、ダイ及びパンチ幾何形状を説明する情報の読み出し、ワーク曲げに十分な力を有さず、結果として所望の角度、内側半径を生じるワークでの所望の曲げ形成が不可能なダイ及びパンチを除く、数セットの実行可能なダイ及びパンチの形成処理工程より構成される。更に、該方法には、幾何形状衝突試験での不良により決定されるワークとの衝突可能性があるパンチを除き、力、曲げ角度、内側半径の必要条件を最も近似に満足する適当なダイ及びパンチを選ぶ処理工程が含まれる。

幾何形状試験は、完成3次元ワークをモデル化し、一連の曲げにおける各曲げに対し、各実行可能パンチのモデルと選ばれたダイのモデル間でモデル化された3次元ワークを一致させることにより実行される。

前記に加え、本発明は、曲げ装置のダイ・レールに沿った工具だけステージのレイアウトを決定するコンピュータ化された方法も提供する。曲げ装置は、1番目からN番目の曲げまで一連の曲げより構成される一連の操作を実行することにより、可鍛性材板金より成るワークと曲げるよう改良されている。該方法には、ダイ・レ

ールに沿って複数のステージ配置を決定し、一連の曲げの曲げ用の工具だけステージの側面エッジを越えてワークが伸びる量に基づき水平限度を算出する処理工程が含まれる。更に、該方法には、ステージの各側面の最大水平限度を決定し、隣接側面エッジの決定された最大水平限度の大きい方より以上、或は同等の隣接側面エッジ間隙を有するよう、隣接し一定間隔でステージ配置することが含まれる。

前記システム及び方法に加えて、本発明は、計画を作成し、曲げ装置を制御するシステムも提供する。上記のように、計画は、曲げ装置により実行される一連の操作より構成され、曲げ装置は、可鍛性材板金より成るワークを曲げるため改良されている。一連の操作には、元の可鍛性材板金から完成ワークを形成するため、1番目からN番目の曲げまでの一連の曲げが含まれる。システムには、一連の曲げと、一連の曲げにおける1番目の曲げを開始する前に、曲げ装置の設定方法に関する情報を含む設定サブ計画とを生成する設定計画作成機構が含まれる。更に、システムには、設定サブ計画に従い実行される設定操作の開始を知らせる伝達装置に対して、作成後の設定サブ計画を送る発送機構が含まれる。設定サブ計画の作成後、計画を完了するため詳細なサブ計画情報を生成する完成機構が更に提供される。伝達装置により設定操作の開始が知らせられると、詳細サブ計画情報の少なくとも一部が生成される。設定サブ計画には、次の

情報形態の1つ以上が含まれる。つまり、工具だけステージにレイアウトに関する

る情報、曲げ装置で利用される工具だけダイ及びパンチ・プロファイルに関する情報、曲げ装置のダイ・レールに沿った工具だけステージの位置、曲げシーケンスを通してワークを操作移動させるために使われるグリッパ形態に関する情報、曲げシーケンスの曲げ間においてグリッパがワーク上でのその掌握を変更する間に、ワークを保持するのに使われるレポ・グリッパの形態に関する情報である。

発送装置には、曲げ装置上で自動設定操作の実行を指示するシーケンサ・モジュールに指示を送る装置が含まれる。更に、或は代わって、発送装置は、人間であるオペレータがそれにより設定操作を実行できるよう、曲げ装置上で行われる設定操作の視覚表示も作成する。

前記システム及び方法に加え、本発明は、可鍛性材板金より成るワーク上での曲げ操作実行に曲げ装置が利用できるよう、曲げ装置上で設定操作を実行するシステムが提供される。曲げ装置には、ダイ、工具パンチ保持機構、1個以上の工具だけステージが含まれる。各工具だけステージには、ダイ・レール上に載置されるダイ、パンチ保持機構に保持される工具パンチが含まれる。システムには、更にダイ・レールに沿った各1つ以上の工具だけステージの位置に関する情報を受け取る機構、少なくとも1つのダイ・レールに沿ってガイド部材の位置と、少なくとも1つのダイ及び工具パンチがガイド部材

に一致可能であり、結果的に生じる工具ステージがエアイ・レールの沿った所望の位置になるよう、受け取った情報に基づき工具パンチ保持機構を制御する制御機構が含まれる。

制御機構は、ガイド部材をダイ・レールに沿った所定位置と、そしてダイ・レールからある程度はなれた位置とに位置決定することが可能であり、それにより一致させるべき工具だけステージのダイが、ダイ・レールの沿って工具だけステージを適切に位置付けするため、ガイド部材に当接可能となる。ガイド部材には、曲げ装置内にワークをロードする時にバックゲージを行う機構のバックゲージ・フィンガが含まれる。

前記システム及び方法に加えて、本発明は、可鍛性板金より成るワークを曲げる曲げ装置を制御する計画を実行するシステムを提供する。該計画には、曲げ装

置により実行される一連の操作が含まれる。曲げ装置がセンサ出力を利用しワークの移動を修正し、ワークのある位置から他の位置に移動することを含む操作を実行するためセンサベースの制御機構が設置される。測定装置が、ワークの移動がセンサ出力に応じ修正された量を測定し、学習制御機構が、センサ出力を利用しワークの移動を修正することなく、ワークのある位置から別の位置への移動を含む操作を実行する。学習制御機構は、測定装置の測定量に基づき操作実行を制御する。

前記を含め本発明の目的、特徴、利点を以下更に詳細

に説明する。

#### 図面の簡単な説明

本発明の詳細を図面をもとに、またそれに限定するわけではないが、本発明の実施例を挙げ記載するが、その前に図面を簡単に説明する。図内では、同様の符号は同様の部分を表すものである。

- 図1は、従来技術による曲げワークステーションを示す図である；
- 図2は、従来技術による曲げプレスの一部側面図である；
- 図3は、従来技術による曲げプレスの部分正面図である；
- 図4は、従来技術による曲げ計画及び制御システムを示す図である；
- 図5Aは、本発明の図示の一実施例に従い設置される曲げ計画及び制御システムを示す図である；
- 図5Bは、ステージ設定制御システムを示す図である；
- 図5Cは、ステージ設定操作がその上で実行されるダイ・レールの平面図である；
- 図6は、図5Aに示す制御システム75の詳細図であり、曲げ計画及び制御システムを示す図である；
- 図7は、図示の計画作成システムにより実行される全体的計画作成工程の高レベル・フローチャートである；
- 図8は、ラベル付き幾何形状曲げ関連特徴を記述する

目的で提供される平らなワークを示す図である；

図9は、平らなワークと対応するサーチ・ツリーを示す図である；

図10は、単一ワークの厚さ変換を示す図である；

図11は、ワークアセンブリの厚さ変換を示す図である；

図12は、厚さ変換を有する場合と、有さない場合の幾何形状モデル化ファイル構造を示す図である；

図13Aは、知能曲げ計画作成用設計システムの複数の機能を示す図である；

図13Bは、設計システムの出力形状ファイルに基づきパーティをモデル化するパーティモデルを示す図である；

図13C及び図13Dは、それぞれワークの2次元、3次元表示を示す図である；

図14A～14Eは、図示の実施例で提供されるCADシステムのグラフィック・ユーザ・インターフェースの例と、そのようなグラフィック・インターフェースを利用しパーティを設計する処理工程を示す図である；

図15Aは、厚さを有する曲げワークの側面図である；

図15Bは、未完成平坦2次元ワーク表示の平面図である；

図15Cは、完成平坦2次元ワーク表示の平面図である；

図16は、曲げグラフ・リストに対応する2次元図面を示す図である；

図17Aは、BM100幾何形状モデル化ファイルリング構造を示す図である；

図17Bは、工具だけモデル化ファイル構造構造を示す図である；

図18Aは、グリッパのモデル化ファイル構造を示す図である；

図18Bは、パーティモデル化ファイル構造を示す図である；

図19は、曲げシーケンスのプランナから運動エキスパートに送られるFEL計画作成メッセージを示す図である；

図20Aは、ワークとワークに従い生成されるサーチ・ツリーの例を示す図である；

図20Bは、ワークと曲げ対ノードを有するサーチ・ツリーの例を示す図である；

図20Cは、ワークと制限曲げ対ノードを有するサーチ・ツリーの例を示す図である；

図20D～20Eは、共直線曲げを有するワークの例を示す図である；

図21は、板金曲げに適用されるA\*フロー・チャートの一般例を示す図である；

図22A～22Dは、ここで図示する曲げシーケンス・プランナの実施例の主フローを示す図である；

図23A～23Dは、サブ計画作成とコスト割当てを実行する処理工程を示す図である；

図24は、算出コストを図示する、ワークとサーチ・ツリーの例を示す図である；

図25Aは、内部タブを有するワークの例を示す図である；

図25Bは、外部及び内部曲げラインを有するワークの例を示す図である；

図25Cは、短・長曲げラインを有するワークの例を示す図である；

図25Dは、当接内、外部コーナ・エッジを有するワークパーティ例を示す図である；

図25Eは、共直線曲げを有するワークの部分切取り例を示す図である；

図26A, 26B, 27A～27Cは、制限式を説明するのに使われるワークの例を示す図である；

図28は、ノードb6'、b6の変遷比較を示すグラフである；

図29は、曲げシーケンス・プランナと保持エキスパート間の対話を示すチャートである；

図30は、曲げシーケンス・プランナと工具だけエキスパート間の対話を示すチャートである；

図31は、曲げシーケンス・プランナと運動エキスパート間の対話を示すチャートである；

図32は、ロボット・グリッパの選択工程を示す図で

ある；

図33Aは、その上に方向付けされたxポイントを有する平坦二次元ワークを示す図である；

図33Bは、その上に方向付けされたxポイントを有する曲げ3次元ワークを示す図である；

図34A,34Bは、サーチ前に実行されるレポの最小数を予想する処理工程を示す図である；

図35A,35Bは、サーチ中に実行されるレポの最小数を予想する処理工程を示す図である；

図36A,36Bは、ワーク上のロボットに掌握位置を決定する処理工程を示す図である；

図37は、板金、エッジ調整システムの両方を有する二次元ワークを示す図である；

図38は、二次元ワークと有効Y掌握位置の図示生成を示す図である；

図39は、レポ実行前に最終掌握位置を決定するための掌握領域間交差を示す図である；

図40は、種々サーチ・レベルにおける掌握領域の例を示す図である；

図41は、レポ・グリッパ位置を決定する処理工程を示す図である；

図42は、状態・空間サーチ実行前にレポ・グリッパを選択する処理工程を示す図である；

図43A:43Bは、状態・空間サーチ後に実行されるレポ・グリッパを選択する処理工程を示す図である；

図44は、サーチ前に実行される大箱梱包処理工程を示す図である；

図45は、初期工具だけhコストの判定（完全な曲げシーケンスの実行に必要な合計予想ステージに基づく）に利用される処理工程を示すグラフである；

図46は、初期工具だけhコストを判定するプロセスの処理工程を示す図である；

図47Aは、使用される工具だけを選択する処理工程を示す図である；

図47B、47Cは、ステージ計画作成を実行する処理工程を示す図である；

図48A～48Cは、ステージ計画作成中に利用されるモデル化された曲げプレスとワークを示すグラフである；

図49は、微動計画作成の処理工程を示す図である；

図50は、k, hコストを算出するため、運動エキスパートにより実行される処理工程を示す図である；

図51は、総運動計画の決定に使われる、曲げプレス、ロボット、ワークのモデルを示すグラフである；

図52は、ここで図示する計画作成システムのコントローラ構造を示すブロック図である；

図53は、ここで図示する計画作成システムのシーケンサ内に設置されるシーケンサ・タスクの主処理工程を示す図である；

図54は、作成された計画に従い曲げを実行する処理

工程を示す図である；

図55は、制御システムの一部を構成するロボット・タスクを示す図である；

図56は、制御システムのプレス、ローダ・アンローダ(L/UL)のタスクを示す図である；

図57は、制御システムのバックゲージ・タスクを示す図である；

図58は、ここで図示する計画作成システムにより実行される学習プロセスにおける主処理工程を示すフローチャートである。

#### 添付の簡単な説明

本発明は、添付内記載の複数のリストにより更に例証されている。以下、添付について簡単に説明する。

添付Aは、図14Eに示すワークの幾何形状・形態データ構造を含むCADシステム生成の出力形状ファイルである；

添付Bは、添付Aのリスト記載の幾何形状・形態データ構造から形成される曲げグラフのリスト例である；

添付Cは、計画作成工程中に曲げシーケンス・プランナと様々なエキスパート

間で生成、授受されるF E Lメッセージを示すリスト例である；

添付Dは、曲げシーケンス・プランナから、ここで図示される計画作成、制御システム71のシーケンサに送られるF E Lの最終計画を示すリストの具体例である。

#### 好ましい実施例の詳細な説明

##### 1. 計画作成、設定、制御

図を基に詳細に説明するが、まず図5は、知能製造曲げワークステーション用の計画作成、制御システム70の実施例を示すブロック図である。図示の実施例では、計画作成・制御システム70には、CADシステム74、曲げシーケンス・プランナ72、複数のエキスパート(サブ・プランナ)、シーケンサ76が含まれる。計画作成・制御システム70は、インターフェース77を介しハードウェア及びセンサ78に接続される。

エキスパートには、工具だてエキスパート80、保持エキスパート82、運動エキスパート84が含まれる。点線で図示する検知エキスパート85等のエキスパートも追加される。曲げシーケンス・プランナ72、エキスパート80、82、84、CADシステム74は、Sparc 10 SunOS・バージョン4.1.3等ワークステーション・コンピュータ上においてUNIX互換環境内で実施される。シーケンサ76は、バス・アダプタを介しSunワークステーションに連結追加されるCPU内で実施される。バス・アダプタは、Sunワークステーションと遠隔VMEバス受動バックプレーンとの間に延設されるビット3VME対VMEバス・アダプタにより構成される。受動バックプレーンは、図5に示すように、インターフェース77の一部を一体形成するVME(仮想メモリ拡張)等、数種のインターフェース機構を保持する。シーケンサ76は、キメラ等実時間UNIX

互換マルチプロセッサのオペレーティング・システム内で実施され、コンピュータ・ワークステーションバックプレーンに追加設置されるCPUにより走行される。従って、図示の実施例では(図5)、CADシステム74、曲げシーケンス・

プランナ72、エキスパート80、82、84(そして85)、シーケンサ76は、それぞれ主にUNIX互換オペレーティング・システムを利用するコンピュータ操作を制御するソフトウェアにより実施される。シーケンサ76は、キメラ等の実時間UNIX互換マルチプロセッサのオペレーティング・システム内で実施される。

CADシステム74は、所望の3次元完成パーツを形成するため、元の(平坦)板金パーツの形状と元のパーツ上で実行される曲げとを定義することにより、板金構成を設計するのに利用される。板金パーツの設計において、CADシステム74が、該パーツを表現する1個以上の情報ファイルを作成する。3次元パーツの設計において、一好適実施例では、CADシステムが、該パーツの2次元表示と並行して、メモリに板金パーツの3次元表示を視覚的に保持する。デザイナは、どちらか一方の表示に詳細を付加、或は削除することにより設計を修正する。CADシステム74は、また、幾何形状モデル化に必要な情報を収集し及び/又は生成したりする機能や、ある設計特徴が曲げワークステーションにより実施可能かどうかの曲げシーケンス・プランナ72からの助

言を要求する機能等も果たす。

曲げシーケンス・プランナ72は、工具だけエキスパート80、保持エキスパート82、運動エキスパート84、他何れかのエキスパート(例、検知エキスパート85)と協力して動作し、CADシステム74を使用し設計されるパートの曲げワークステーションによる完全なパーツ製造用に計画を作成する。曲げシーケンス・プランナ72は、仮想曲げシーケンスでの特定曲げを提案したりする機能や、仮想曲げシーケンス内に位置する曲げを実行するため、システムによりどのような初期処理工程が実行されなければならないか判定する機能などを実行する。提案された曲げの結果判定において、曲げシーケンス・プランナ72は、提案の曲げ実行にどのような工具だけが必要かに關し工具だけエキスパート80に質問し、提案の曲げ実行中にどのような方法でワークの保持が可能かに關しては保持エキスパート82に質問し、曲げ製造を支援するのにロボット(ワークを保持している)が移動操作可能かどうかやその移動範囲に關しては運動エキスパー

ト84に質問する。検知エキスパート85が設けられる場合、曲げシーケンス・プランナ72は、ワークステーションによる提案曲げの実行を支援するために特定センサベースの制御戦略が必要かどうかや、また特定センサベースの制御戦略関連のコストに関し検知エキスパート85に質問することができる。曲げシーケンス・プランナ72は、完全な曲げシーケンスにおける1番目から最後の曲げまで逐一曲げを連続して提案するよう構成され、その結果最終的ワークを形成するための完全な1セットの曲げが生成される。このようにして継続的な最終曲げシーケンスが生成されると、曲げシーケンス・プランナ72は、最終計画(ワークステーションの様々なハードウェア素子の実行を制御するのに必要な処理工程と付随情報の一般リストを含む)を作成し、その計画をシーケンサ76に送るよう構成される。

シーケンサ76は、曲げシーケンス・プランナ72により作成される計画の実行を指示する。シーケンサ76は、その最終計画において曲げシーケンス・プランナ72により与えられる命令を解釈し、命令とそれに伴う情報を分析すると共に板金曲げワークステーションの各主ハードウェア素子用に提供されるキュー内にそれらを配置することにより様々な命令のタイミングを制御する。

コントローラ75は、ワークステーションの様々なハードウェア素子に対応する複数のタスクより構成される。各タスクは、プランナが送る計画に従い適切な方法で、シーケンサにより作動される。

#### (a) 計画作成システムの動作：プランナとサブ・プランナ

曲げシーケンス・プランナ72と、例えば工具エキスパート80、保持エキスパート82、運動エキスパート

84、(そして検知エキスパート85)を含む数種のサブ・プランナとは、計画作成システム71を形成する。

曲げシーケンス・プランナ72は、CADシステム74が提供する設計パーツ(板金ワーク)を分析し、曲げワークステーションにより実行されるべき曲げシーケンスを提供する。プランナ72は、曲げワークステーションが利用可能な効

率的一連の曲げ操作を判定するため、状態・空間サーチ方法を利用する。プランナ72は、その判定に必要な情報を得るために、工具だけエキスパート80、保持エキスパート82、運動エキスパート84と会話をする。

工具だけエキスパート80は、プランナ72の質問に答え、特定曲げ操作、或は曲げシーケンスにどの工具が必要かなどの情報を曲げシーケンス・プランナに提供する。更に、工具だけエキスパート80は、曲げシーケンス・プランナ72にワークステーション内の工具配置を知らせる。工具だけエキスパートは、プランナ72と共に、最小数のステージ・工具だけを利用して特定パーツを製造するよう、つまりパーツ製造の完全な曲げシーケンスを実行するよう、工具だけの設定を設計する。

保持エキスパート82は、例えば曲げシーケンス・プランナ72指定の特定曲げの実行中に、ロボットがワークを保持できるかどうかなど、保持関連の判定を行う。保持エキスパート82は、また、衝突なく、ワーク上でのロボットの掌握を変更する必要がなく、ワークを一連

の曲げを通し移動操作できるよう、ロボットがワークを保持すべき位置の判定も行う。更に、保持エキスパート82は、ロボットの掌握変更中に再位置決定グリッパがワークを保持すべき位置と、ワークのロード・アンロード中のローダ・アンローダ(L/UL)30の吸着器31の位置を判定する。

運動エキスパート84は、運動計画、即ちワークを曲げの実行に必要な様々な空間に通したり様々な経路に沿わせたりして移動させるためにロボットを移動操作させる方法、の生成する役割を果たす。

曲げシーケンス・プランナ72と各エキスパートは、質問形式でお互い通信するようモジュール型となっている。例えば、曲げシーケンスの一部として特定曲げを含む決定をする前に、曲げシーケンス・プランナ72が、曲げ処理に十分な工具があるかどうか工具だけエキスパート80に質問する。次に、曲げシーケンス・プランナ72は、工具だけエキスパート80からの答えを待つ。工具だけエキスパート80は、曲げシーケンス・プランナ72からの質問を認識し、例えば曲げシーケンス・プランナ72が指定する特定曲げ処理に十分な工具があること

を示す答えを返却する。例えば、曲げシーケンス・プランナ72は、ロボット・アーム・グリッパ14が、特定曲げ操作中にワークのその掌握を再位置決定することなく、ワーク上の掌握を維持できるかどうか保持エキスパート82に尋ねることもできる。保持エキスパー

ト82は、次に、曲げシーケンス・プランナ72の質問に答え、そして曲げシーケンス・プランナ72がその情報を利用し次の判定を行う。

計画作成システム71の各モジュールは、判定に必要なシステムの各ハードウェア構成要素の相対的な作用及び位置をモデル化するため、幾何形状モデル化ライブラリにより提供される1個以上の機能を利用する。

#### (b)システム設定

計画作成システムにより計画が作成されると、システムは設定処理工程を実行する。設定処理工程は、完全に手動で実行可能であり、或は自動工具チェンジャーを使い完全、又は一部自動としてもよい。設定処理工程中に実行される手動動作には、図1に示すような専用コントローラへのプログラム・データのダウンロードが含まれる。

図5Cに示すように、各ステージ（図5Cに示すようなステージ1、2）は、ダイ・レール22に沿ってステージ1に複数のダイ・セグメント810a, 810b, 810cを設置し、ステージ2に複数のダイ・セグメント811a, 811b, 811cを設置することにより設定されなければならない。各ステージのダイ・セグメントが設置される位置を測定するため、一般に人間であるオペレータが、ダイ・レール22のエッジから各ステージに対応するダイの特定エッジまでの距離を測定する。例えば、各ステージに対応するダイ・セグメントを位置決めするため、ダイ・レール22の左エッジから各ステ

ージに設定された各ダイの左エッジまでの測定が行われる。本発明の特定実施例に従い、設定オペレータがダイ・セグメントをダイ・レール22に沿った適当な位置に配置するために使用できるガイドを自動的に提供する機構が設置される。このような機構は、ダイ・レール22に沿った各ステージの特定エッジに自動位

を示す答えを返却する。例えば、曲げシーケンス・プランナ72は、ロボット・アーム・グリッパ14が、特定曲げ操作中にワークのその掌握を再位置決定することなく、ワーク上の掌握を維持できるかどうか保持エキスパート82に尋ねることもできる。保持エキスパー

ト82は、次に、曲げシーケンス・プランナ72の質問に答え、そして曲げシーケンス・プランナ72がその情報を利用し次の判定を行う。

計画作成システム71の各モジュールは、判定に必要なシステムの各ハードウェア構成要素の相対的な作用及び位置をモデル化するため、幾何形状モデル化ライブラリにより提供される1個以上の機能を利用する。

#### (b)システム設定

計画作成システムにより計画が作成されると、システムは設定処理工程を実行する。設定処理工程は、完全に手動で実行可能であり、或は自動工具チェンジャーを使い完全、又は一部自動としてもよい。設定処理工程中に実行される手動動作には、図1に示すような専用コントローラへのプログラム・データのダウンロードが含まれる。

図5Cに示すように、各ステージ（図5Cに示すようなステージ1、2）は、ダイ・レール22に沿ってステージ1に複数のダイ・セグメント810a, 810b, 810cを設置し、ステージ2に複数のダイ・セグメント811a, 811b, 811cを設置することにより設定されなければならない。各ステージのダイ・セグメントが設置される位置を測定するため、一般に人間であるオペレータが、ダイ・レール22のエッジから各ステージに対応するダイの特定エッジまでの距離を測定する。例えば、各ステージに対応するダイ・セグメントを位置決めするため、ダイ・レール22の左エッジから各ステ

ージに設定された各ダイの左エッジまでの測定が行われる。本発明の特定実施例に従い、設定オペレータがダイ・セグメントをダイ・レール22に沿った適当な位置に配置するために使用できるガイドを自動的に提供する機構が設置される。このような機構は、ダイ・レール22に沿った各ステージの特定エッジに自動位

置決定可能なバックゲージ・フィンガ88を備える。例えば、バックゲージ・フィンガ88は、まず第1ダイ・セグメント810aをバックゲージ・フィンガ88に対して当接させるため位置Aに配置され、続いて第2、第3ダイ・セグメント810b, 810cが設置される。ステージ1でのダイ・セグメントの一一致後、バックゲージ・フィンガ88は、次のステージ、つまりステージ2に自動的に位置決定される。さらに詳細には、バックゲージ・フィンガ88は、ステージ2に対応するダイの1側面に位置決定される。図示の実施例では、バックゲージ・フィンガ88は、ダイ811の左エッジに位置決定される。バックゲージ・フィンガ88がこの位置にある間、第1ダイ・セグメント811aがダイ・レール22に沿って配置され、バックゲージ・フィンガ88に対して当接され一致される。その後、ダイ・セグメント811b, 811cがダイ・レール22上に配置され固定される。

図5Bは、ダイ810, 811のアラインメント位置決定を支援するバックゲージ・フィンガ88を制御するための主構成要素を示す図である。サブシステムは、バ

ックゲージ・フィンガ88を1つ以上の特定ステージ位置に移動させるようバックゲージ・サーボ・コントローラ87bを指示する機構を含む入力制御モジュール87aより構成される。

図5Aによれば、計画作成・制御システム70の制御部75にアラインメント制御モジュール87aが設けられ、一方バックゲージ・サーボ・コントローラ87bにはインタフェース77が設けられる。より詳細には、コントローラ75にバックゲージ・タスク・モジュールが設けられる。バックゲージ・タスク・モジュールには、それにより呼び出されるバックゲージ・フィンガのダイ・アラインメント機能が設けられる。ダイ・アラインメント機能の呼出しにおいて、バックゲージ・タスク・モジュールは、第2レベルのバックゲージ装置ドライバ206(図6参照)を使い、バックゲージ・サーボ・コントローラを作動制御し、次に作動されたコントローラが、曲げワークステーションのバックゲージ・ハードウェアに接続されたパラレル入出力カードと相互に作用する入出力装置ドライバ2

置決定可能なバックゲージ・フィンガ88を備える。例えば、バックゲージ・フィンガ88は、まず第1ダイ・セグメント810aをバックゲージ・フィンガ88に対して当接させるため位置Aに配置され、続いて第2、第3ダイ・セグメント810b, 810cが設置される。ステージ1でのダイ・セグメントの一一致後、バックゲージ・フィンガ88は、次のステージ、つまりステージ2に自動的に位置決定される。さらに詳細には、バックゲージ・フィンガ88は、ステージ2に対応するダイの1側面に位置決定される。図示の実施例では、バックゲージ・フィンガ88は、ダイ811の左エッジに位置決定される。バックゲージ・フィンガ88がこの位置にある間、第1ダイ・セグメント811aがダイ・レール22に沿って配置され、バックゲージ・フィンガ88に対して当接され一致される。その後、ダイ・セグメント811b, 811cがダイ・レール22上に配置され固定される。

図5Bは、ダイ810, 811のアラインメント位置決定を支援するバックゲージ・フィンガ88を制御するための主構成要素を示す図である。サブシステムは、バ

ックゲージ・フィンガ88を1つ以上の特定ステージ位置に移動させるようバックゲージ・サーボ・コントローラ87bを指示する機構を含む入力制御モジュール87aより構成される。

図5Aによれば、計画作成・制御システム70の制御部75にアラインメント制御モジュール87aが設けられ、一方バックゲージ・サーボ・コントローラ87bにはインタフェース77が設けられる。より詳細には、コントローラ75にバックゲージ・タスク・モジュールが設けられる。バックゲージ・タスク・モジュールには、それにより呼び出されるバックゲージ・フィンガのダイ・アラインメント機能が設けられる。ダイ・アラインメント機能の呼出しにおいて、バックゲージ・タスク・モジュールは、第2レベルのバックゲージ装置ドライバ206(図6参照)を使い、バックゲージ・サーボ・コントローラを作動制御し、次に作動されたコントローラが、曲げワークステーションのバックゲージ・ハードウェアに接続されたパラレル入出力カードと相互に作用する入出力装置ドライバ2

20等、適当なレベル1の装置ドライバと相互に作用する。

実行可能な別の手動工程は、パンチ・ホルダ20の位置決定及び／又は調整である。また、工具パンチ・セグメントの一一致には、それらが各パンチ・ホルダ20内に適切に着座され、関連するダイ・セグメントに対応するよう、標準工程が実行される。これは、ダイ・セグメン

トと対応する工具パンチ・セグメントが一定量の力でお互いに押圧されるようにするプレス操作により構成される。更に、設定中に、当策者であれば知っている他の標準的調整及び手順も実行される。例えば、吸着器31がワーク16に対して適切に位置決定されるよう、ローダ・アンローダ30を調整する必要がある。

ワークステーション10は、何ら人的介在を必要とせず、計画作成システムにより自動的に制御されるよう構成される。ある制御モジュールが、別個のプレス・ブレーキ・コントローラ42及びロード・アンロード・コントローラ46と共に、例えば図1に示す別個のロボット制御モジュール44のように別個のものとしてそれでも維持される場合、計画作成システムは、計画の適当な構成要素を適当な制御モジュールにダウンロードするよう構成される。

#### (c)順序配列と制御

図示の実施例では、シーケンサ76は、キメラIIオペレーティング・システムを有するアイロニクスIV-3230コンピュータ等、実時間UNIX互換シェル内で動作する。シーケンサ76等の実時間スケジューラの実施可能性に関する追加情報は、スチュアート、シュミツ、コスラによるキメラ・マニュアル「キメラII実時間プログラミング環境、バージョン1.02」(1990年10月29日)に記載されている。その全内容を、以下参照という形で記載する。シーケンサ76は、制御システム75による

作成計画の一般的実行のスケジュールを行う。また、制御システム75は、インターフェース・アーキテクチャ77を利用し、図5にハードウェア及びセンサ78として示されるシステム内の様々な素子及びセンサと通信する。

図6は、シーケンサ76、制御システム75、インターフェース・アーキテクチ

ヤ77を更に詳細に示す図である。図6に示すように、シーケンサ76は曲げシーケンサ・プランナ72に接続され、更に制御システム75を備える複数のモジュールに接続される。制御システム75のモジュールには、ロボット・タスク92、プレス及びL/ULタスク94、バックゲージ・タスク96、運動ライブライ98、速度制御モジュール102、衝突検出モジュール100が含まれる。インタフェース・アーキテクチャ77は、1セットのレベル2装置ドライバと別セットのレベル1装置ドライバより構成される。レベル2装置ドライバ(DD)には、ロボットDD202、プレス及びL/UL DD 204、バックゲージDD206、グリッパDD208、グリッパ・センサDD210、垂下センサDD212、バックゲージ・センサDD214、角度センサDD216が含まれる。レベル1装置ドライバには、1枚以上の並行入出力VMEカード、1枚以上のA/D VME変換カード、ロボット・サーボ制御カード用としてそれぞれ装置ドライバ220, 222, 224が含まれる。

従って、インタフェース・アーキテクチャ77により示されるように、制御システム75の様々なタスク及び制御モジュールを曲げワークステーションの様々なハードウェア素子にインタフェースするには、2レベル装置ドライバが推薦される。第1レベルの装置ドライバは、オープン()、クローズ()、リード()、ライト()、icolt1(), map()命令を含む命令が支持されるUNIX式インタフェースを備える。第1レベル装置ドライバは、パラレル入出力ポート、アナログ/デジタル変換器、ロボット・サーボ制御機構等、ハードウェア装置が装着される入出力ポートへのインタフェースを標準化する。第2レベル装置ドライバは、制御システム75と第1レベル装置ドライバ間のインタフェースを形成する。第2レベル装置ドライバでは標準インタフェース・ルーチンが1つも提供されないが、第2レベル装置ドライバは、上述のキメラのマニュアルで開示するように、標準形態を使い実施される。2レベルの装置ドライバのフォーマットを使用し、信頼性があり、携帯可能であり、また読み易いコードを有するソフトウェア・インタフェース・システムが提供される。装置ドライバに関する具体的詳細やその実施の例は、ここで参照という形で記載する上述のキメラ・マ

ニュアルに述べられている。

コンピュータをハードウェア素子に接続する実際の入出力ポートであるVMEカードに関しては、このよう

なカードには、上記のように、1個以上のパラレル入出力カードが含まれ、コンピュータとそこに接続される様々なハードウェア素子間の接続が光学的に分離されることが望ましい。更に、VMEカードには、1枚以上のGeonics運動2軸サーボ制御カードII,MCCIIと、十分な数のチャンネルとビット解像度を有する1個以上のA/Dコンバータ、例えばIMV-1645アイロニクス(ペントランド・プール・ブラウンMPV950S)等の16チャンネルと12ビット解像度を有するA/Dコンバータが含まれる。パラレル入出力カードには、80チャンネル(64使用可能チャンネルを有する)XycomXVME-240カード、及び/又はXycom XVME-220及び/又はXVME-212ボード等の32チャンネル・ディジタル出力ボードが含まれる。ワークステーションに含まれるセンサ、例えばグリッパ・センサ、ドロープ・センサ、バックゲージ・センサ及び/又はアングル・センサ、により生成される様々なデータの読み出し等、情報の入力のため1個以上のA/Dコンバータが設けられる。

ロボット・タスク92、プレス及びL/U Lタスク94、バックゲージ・タスク96は、それぞれ曲げワークステーションの対応するハードウェア素子を制御する適当な装置ドライバを制御する。様々な運動関連機能の実行中に実行される数種の機能が、運動ライブラリ98内に提供される。このような機能には、運動学、軌道算出、フィルタリングが含まれる。速度制御に関連する何

れの制御機能、即ち、例えば曲げワークステーションの様々な物理的素子(ロボット等)の移動速度の制御の機能は、速度制御モジュール102内で実施される。曲げ工程中の運動制御処理工程で必要とされる衝突検出を行うため、衝突検出モジュール100が設けられる。

運動ライブラリ98には、曲げワークステーションの様々な構成要素の移動を動的に制御すると共にこのシステムに設けられる様々なセンサが生成するセンサ

ニュアルに述べられている。

コンピュータをハードウェア素子に接続する実際の入出力ポートであるVMEカードに関しては、このよう

なカードには、上記のように、1個以上のパラレル入出力カードが含まれ、コンピュータとそこに接続される様々なハードウェア素子間の接続が光学的に分離されることが望ましい。更に、VMEカードには、1枚以上のGeonics運動2軸サーボ制御カードII,MCCIIと、十分な数のチャンネルとビット解像度を有する1個以上のA/Dコンバータ、例えばIMV-1645アイロニクス(ペントランド・プール・ブラウンMPV950S)等の16チャンネルと12ビット解像度を有するA/Dコンバータが含まれる。パラレル入出力カードには、80チャンネル(64使用可能チャンネルを有する)XycomXVME-240カード、及び/又はXycom XVME-220及び/又はXVME-212ボード等の32チャンネル・ディジタル出力ボードが含まれる。ワークステーションに含まれるセンサ、例えばグリッパ・センサ、ドロープ・センサ、バックゲージ・センサ及び/又はアングル・センサ、により生成される様々なデータの読み出し等、情報の入力のため1個以上のA/Dコンバータが設けられる。

ロボット・タスク92、プレス及びL/ULタスク94、バックゲージ・タスク96は、それぞれ曲げワークステーションの対応するハードウェア素子を制御する適当な装置ドライバを制御する。様々な運動関連機能の実行中に実行される数種の機能が、運動ライブラリ98内に提供される。このような機能には、運動学、軌道算出、フィルタリングが含まれる。速度制御に関する何

れの制御機能、即ち、例えば曲げワークステーションの様々な物理的素子(ロボット等)の移動速度の制御の機能は、速度制御モジュール102内で実施される。曲げ工程中の運動制御処理工程で必要とされる衝突検出を行うため、衝突検出モジュール100が設けられる。

運動ライブラリ98には、曲げワークステーションの様々な構成要素の移動を動的に制御すると共にこのシステムに設けられる様々なセンサが生成するセンサ

ベース信号に従いその制御を変更する第2レベル装置ドライバと直接通信する動的運動制御及びセンサベース運動制御モジュールが更に含まれる。

パラレル入出力カードにおいて、ハードウェア構成要素に存在するサージに起因する損害を避けるため、コンピュータを実際のハードウェア接続から光学的に分離することが望ましい。パラレル入出力カードを光学的に分離する他の理由は、コンピュータとカードを保護し、接地ループが起きるのを防ぐためである。一方、A/Dコンバータはセンサから光学的に分離する必要はない。

## 2. 曲げシーケンス・プランナ

図5Aに示す実施例の曲げシーケンス・プランナ72は、3種の主要機能を実行する。それは、各曲げに関連して伴う操作を含む曲げシーケンスを生成し、生成される曲げシーケンスの結果に関してと生成曲げシーケンスの達成に必要な細部の計画（サブ計画）に関してエキスパートに質問し、全体的計画を立てるため、全ての収

集・生成情報を纏纂することである。該計画は、板金曲げワークステーションの操作を制御する制御システムによる曲げシーケンスの実行に必要な工程を指定する。図示の計画作成システム71の各エキスパートは、プランナ72の要請に応じ、3種の主要機能を実行する。それらは、曲げシーケンスにおける個別工程を実行するためのインクレメント・コストを判定し、提案／中間計画情報を生成し、曲げシーケンス・プランナ72にそのインクレメント・コスト及び計画情報を伝えることである。提案／中間計画情報には、2種類の情報、つまり確定情報と不確定情報が含まれる。例えば、計画作成中のある時点において、保持エキスパート82は、曲げシーケンスにおける所定曲げを実行するためにワークのどの領域がロポット・グラスパにより拘まれるかを知るが（掌握領域が確定）、それでも正確な掌握位置は分からぬ（正確な掌握位置が不確定）。一次（不確定）掌握位置が保持エキスパート82により割当てられ、それは後で確認される。上述のように、シーケンス・プランナが、生成される曲げシーケンスの結果に関して、各エキスパートに質問する。

曲げシーケンスの結果は、コストという言葉で表される。生成される曲げシ-

ケンスのコストは、次の項目の1個以上の関数として判定される。即ち、曲げシーケンスにおける特定操作を実行するのに要する時間；、曲げシーケンスにおける操作が、操作の正確性、結果として

生じるワークの品質に与える影響程度；、曲げシーケンスの特定ポイントにおける特定操作の実行に関連して安全面の懸念があるかどうか；曲げシーケンスの特定ポイントにおいてある一つの操作を実行するよう指示する（もしそれが考慮されるならば）ヒューリスティックがあるかどうか；、である。

曲げシーケンス・プランナ72は、曲げシーケンスのある曲げを実行するためにどのような工具プロファイルを利用すべきか、曲げ実行に必要な所定ステージを形成するため、どのようなステージセグメントが必要か、曲げシーケンスの1個以上の曲げを実行するため、ロボット・グリッパはワークのどの位置を掴むことができ、又は掴むべきか等の情報をエキスパートに求めることができる。更に、プランナ72は、曲げシーケンスにおいて何時ワークの再位置決定が行われるべきか、また曲げ、再位置決定、ワークステーション・ロード、及び／又はワークステーション・アンロード等のシーケンスを通して様々な操作を実行するため、ロボットとワークをどのように移動させるべきかに関してもエキスパートに尋ねることができる。図7は、曲げシーケンス・プランナ72の実施例により実行される主要工程を示す高レベルのフローチャートである。第1ステップS1において、並行設計処理がCADシステム74により実行される。並行設計処理は、他の機能として、特にワークの各部に対応する様々な幾何形状へのラベル付けにより

構成され、結果として生じるラベルは、曲げシーケンス計画の作成においてヒューリスティックを考慮すべきかどうか判定するため、後で（ステップS3）曲げシーケンス・プランナにより使用される。続いてステップS2において、曲げシーケンス・プランナによる曲げシーケンスを形成する曲げの選択をガイドするため、ヒューリスティック枠組が生成される。ステップS2での曲げシーケンスに対するヒューリスティック枠組の生成において、ある所定のヒューリスティック

に一致する曲げ工程のパーツ順序が算出される。次に、ステップS3において、ヒューリスティック枠組に影響される状態・空間サーチ・アルゴリズムが実行される。状態・空間サーチ・アルゴリズムは、ステップS4において各曲げにコストを割当ることにより、規定の順序で様々な曲げを実行する影響の分析を行う。コスト割当てを支援するため、ステップS5において、例えば機械をモデル化することにより特定曲げが有する物理的影響や、各曲げ実行中にお互いが関連しあう結果生じるワークを判定するため、幾何形状推論が利用される。

ヒューリスティックは、特定曲げに対する割当てコストの削減(ヒューリスティックのため望ましい場合)、或は割当てコストが増加(その曲げがヒューリスティックのため望ましくない場合)のどちらか一方を行うことにより考慮される。従って、ステップS3では、所望の完成ワークを製造するため実行可能な特定の一連の曲

げが作成される。ステップS3で状態・空間サーチ・アルゴリズムが実行されると、ステップS6において完全な曲げシーケンスを含む完全な計画が作成されたかどうかの判定が行われる。指定された設計に対して計画作成ができない場合、処理工程がステップS1に戻り、そこで操作計画が作成可能なパーツ設計を形成するため、ワークが再設計される。

ステップS6で完全な計画が作成されたことが判定されると、処理工程はステップS7に進み、完全な計画はFELを使いシーケンサに送られるか、或はシーケンサにより後で検索・実行されるようファイルに記憶される。状態・空間サーチ・アルゴリズムは、例えばここでその全内容を参照という形で記載する、ニルス・J・ニルソンによる「人口知能における問題解決方法」P43~67(マグローハル社発行、1971年)に開示のA\*アルゴリズムにより構成されるのが望ましい。

ステップS4でのコスト割当てでは、ロボット運動、掴み位置、再掴みの必要性、グリッパ及び工具だけ位置変更の必要性、工具変更の必要性等の変数が考慮される。時間がかかり、品質が犠牲となり、及び/又はシステムを危険度の高い状態に晒す変数に対して、高いコストが割り当てられる。

上述の操作計画作成方法は、ヒューリスティックが弱くて状態・空間サーチを有する生成計画と呼ぶことができる（自動的に曲げ計画を生成するためである）。  
該方

法の実行では、人間が設計入力を行う。ヒューリスティック枠組は、制限された1セットの規則のみにより構成されるため、「弱いヒューリスティック」と呼ばれるヒューリスティックを使い定められる。曲げ可能性が考慮され、各考慮された曲げに対しコストが割り当てられる。曲げに割り当てられたコストは、特定曲げのコストを増加或は割引することにより、ヒューリスティック枠組の影響を受ける。最小合計コストを有する一連の曲げが、状態・空間サーチ・アルゴリズムを利用し選ばれる。

ここで開示する弱いヒューリスティックを有する生成計画作成は、他の操作計画作成アプローチと対比する必要がある。そのようなアプローチの1つには、ケースベース推論を有する変形計画作成が含まれる。変形計画作成では、人間が新しいパートの設計入力を行い、その設計はインデックスに従いコード化される。インデックスは、設計される現在のパートと解決すべき問題に最も良く類似する古い設計を検索するために使用される。人間であるオペレータは、例えばRMLプログラムを編集することにより、新しい問題を解決するために古い計画を編集する。変形計画作成で注目される問題の1つは、同様の設計に、古い計画との比較では発見されない別個の、或は異なるソルーションが要求されることである。

操作計画作成別のアプローチは、強いヒューリスティックを有する生成計画作成である。強いヒューリスティクを有する生成計画作成により、人が新しいパートの

設計と数種のラベル付けされた特徴の入力を行う。次に、ヒューリスティックを使い、曲げと機械操作の全順序が判定される。よってこれは「強いヒューリスティック」と呼ばれる。強いヒューリスティックを有する生成計画作成システムは、弱いヒューリスティックの生成計画作成システムに比べ柔軟性、知能に欠け、普通でない問題の処理ができない可能性が高い。このようなシステムは、ある

特定状況ではどのようなヒューリスティックがより有効で、どのヒューリスティックが排除されるべきか理解できない。更に、このようなシステムは、多くの場合計画作成ができない。

#### (a.1)ヒューリスティック

板金曲げヒューリスティックは、本発明の曲げシーケンス・プランナにより考慮可能である。以下、曲げヒューリスティックの例を幾つか記載する。あるヒューリスティックは、内部タブを早期に曲げることである。図25Aに、曲げ線34aに沿って曲げられる内部タブ33を有するワーク16が示されている。このヒューリスティックに従い、曲げ線34b, 34c, 34dに沿って実行される他の曲げも存在するが、内部タブ33はまず曲げ線34aに沿って曲げられるのが望ましい。

別のヒューリスティックによると、内部曲げ線に沿った曲げの前に、最外部の曲げ線に沿った曲げが実行されることが望ましい。例えば、図25Bにおいて、ワーク16は、内部曲げ線36a, 36b, 36c, 36dと

共に外部曲げ線35a, 35b, 35c, 35dを含むものとして示されている。この図示例では、ヒューリスティックに従い、内部曲げ線36a～36dに対応する曲げの前に、外部曲げ線35a～35dに対応する外部曲げが実行されるのが望ましい。

第3のヒューリスティックによれば、長い曲げの前に短い曲げが実行されるのが望ましい。図25Cに、曲げ線37a, 37bに沿った短い曲げと共に曲げ線38a, 38bに沿った長い曲げを有するワークが示されている。従って、曲げ線38a, 38bに沿った長い曲げの前に、曲げ線37a, 37bに沿った短い曲げが実行されることが望ましい。

第4のヒューリスティックによれば、当接内部コーナ面の前に、3次元ワークのコーナ外部面を形成する曲げが実行されるのが望ましい。図25Dに、コーナ390でお互いに当接する外部面39a、内部面39bを有するワーク16が示されている。内部面に対応する曲げが最初に行われると、次に外部面39aに対応する曲げを実行する時、プレスは、フランジをその意図する90°角を越えて

曲げさせることができなくなる。従って、はね返ってくる時、外部面は、内部面 39 b の端部と平行な面とはならない。

別のヒューリスティクによれば、共直線曲げは同時に実行される。図 25 E では、ワーク 16 が、それぞれ各曲げ線 27 a, 27 b に沿って曲げられる 2 つのタブ 2

6, 26 b を含むものとして示されている。曲げ線 27 a, 27 b は共直線であるため、ヒューリスティックによれば、これらの曲げ線に沿った曲げは同時に実行されるのが望ましい。

上記のヒューリスティックは、単に本発明の曲げシーケンス・プランナにより考慮されるヒューリスティックの形態の例である。上記ヒューリスティックの全て、或は一部を含むより大きい、或はより小さい 1 セットのヒューリスティックが、曲げシーケンス・プランナにより利用可能である。

計画作成において、どのようなときにあるヒューリスティックが所定ワークへ適用されるかを識別するため、曲げシーケンス・プランナが次にヒューリスティック規則を適用するときに利用可能なワークの様々な幾何形状特徴を説明する主要特徴リストが作成される。主要特徴リストは、図 8 に示すワーク 16 の例に関し記述される。ワーク 16 がまだその 2 次元状態にある間に、そこから幾つかの特徴が推論される。このような特徴の例には、フランジの番号、幅、高さが含まれる。例えば、フランジ 7 において、フランジのフランジ番号が 7 であり、値  $w$  がフランジ幅に割当てられ、値  $h$  がフランジ高に割り当てられている。また、角度種別、つまり同じ曲げ角度を有する全てのフランジの種別、を指定する値も定められる。

サーチ空間での余分のサーチを避けるためラベル付

けられた特徴も追加され、そこには 1 つ以上の軸で左右対称なパートの指示が含まれる。

図 9 は、ワーク 16 とそれに対応するサーチ・ツリー 15 を示す図である。ワーク 16 は、中間で分割され、ワーク 16 を通って縦に走る対称 Y 軸を有してい

る。従って、第1レベルのサーチでは、ノード2, 4と左右対称であることから、曲げ3, 5に対応するノードが排除されている(これらの曲げを囲む円として示される)。第1レベルでは、これらのノードに対応し、曲げ2、或は4のどちらかと反対の曲げでサーチが開始される場合、同様の有効な結果が得られるため、曲げ3, 5を通して評価及びサーチをする必要もない。選ばれる第1曲げを曲げ1とすると、サーチの次のレベルでは、曲げ2, 4はそれでも曲げ3, 5と左右対称である。従って、曲げ3, 5に対応するノードは、それらが曲げ2, 4と左右対称であることから再び排除される。一方、曲げ4に対応するノードが、シーケンス内で選ばれる第1のノードである場合、ワーク16の対称性はなくなる。従って、曲げ4のノードから始まる次のレベルのサーチでは、対称性により排除されるノード1つもない。

#### (a.2)制限

形成されるパーツ関連の幾何形状特徴に応じ、計画中の操作シーケンスのあるポイントで実行できない曲げ関連の操作がある。これらの曲げ関連操作は、「制限」という機構を使い、曲げシーケンスのある位置にだけに

制限(或はある位置から排除)可能である。設計システムにより生成される幾何形状モジュールからの幾何形状特徴に自動的にラベル付けするため、特徴抽出モジュール(図示せず)が提供され(例、前記と同様のデータ構造を使い)、この幾何形状特徴ラベルは、F E L等のインターフェース通信言語で法的語句(制限と呼ばれる)を形成するのに利用可能である。

制限は、曲げ操作の特定配置が様々な柔軟度を有し指定されることを可能とするデータ構造を使用することにより定められる。例えば、図26Aに示すような4側面パーツ16に対して、曲げ1, 2, 3, 4が実行される順序を指定するのに、以下の制限文が使用できる。

(制限((1 2 3 4)))

この制限文は、第2の前に第1の曲げ、第3の前に第2の曲げ、第4の前に第3の曲げが実行されなければならないことを意味している。更に、文内には1つも演算子が含まれていないため、曲げ1～4の何れの前、中間、或は後に実行され

た他の曲げ操作が1つもないということになる。

曲げ3の前に曲げ2を実行しなければならないが、曲げシーケンスでの曲げ操作の配置上で他の制限が1つもない場合、以下の制限文が使用される。

(制限((2\*3\*)))

オペレータ「\*」は、「ワイルドカード」の役割を果た

し、曲げシーケンスでのその位置において曲げ操作を1つも許可しないか、或は何れの数の曲げ操作も許可するかどちらかであり、その位置で実行される曲げ操作の形態は、制限文で指定されない残りの曲げ操作の何れかとすることができます。

別のワイルドカード演算子「?」も使用でき、これは、制限文で指定されない曲げ操作のうちでまさに1つだけ、曲げシーケンスのその位置で実行されることを意味する。従って、図26Aに示すPARTSにおいて、曲げ2の前に正確に曲げ操作が1つだけ実行されるが、曲げ2以後は曲げ操作の数及び形態に何等の制限がない場合(曲げ2を含まないことを除いて)、以下の制限文が使用できる。

(制限((?2\*)))

制限文には、グループ内での曲げ操作順序にどのような制限もなく、ある曲げ操作を共にグループ化することを要求するグループ化演算子も含まれる。例えば、以下の制限文は、曲げシーケンスにおいて曲げ4の前に曲げ2, 3が来て、また曲げ2, 3はその間に1つも曲げ操作が介在することなくグループ化されることを要求する。

(制限((23}\*4\*)))

制限文内には1つ以上の制限式を含むことが可能である。例えば、以下に示す制限文には、上述のグループ化制限式に加え、曲げ1, 4に対して他の操作の含有及

び配置に関して如何なる制限も追加されることなく、曲げ4の前に曲げ1が来ることを更に指定する制限式も追加される。

(制限((23}\*4\*))

( $^1 4^*$ ))

1 グループ内にはいずれの数の曲げ操作を含むことが可能であり、グループは複数のグループが所定の順序になるべきであるとする必要条件が1つもないことを示すため、入れ子化される。例えば、以下の表現は、曲げ1, 2が曲げシーケンスにおいて隣どうしとなり、曲げ3, 4が曲げシーケンスでお互いに隣接することを示す。一方、この制限式があっても、他の曲げ操作の含有及び配置に関し他の制限があるわけではない。

( $^* \{ \{ 12 \} ^* \{ 34 \} \} ^*$ )

幾つか他の制限式の例としては、曲げ操作7がシーケンス内の最後の曲げ操作として実行されることを意味する( $^7$ )や、曲げ操作7がシーケンス内で最後から2番目として実行されることを意味する( $^7?$ )がある。

制限の定義に使用可能な形態の操作は、NOT, OR, AND等のプール演算子を含むよう拡張される。例えば、NOT演算子を使う制限は、第7曲げ操作がシーケンスの最後の操作ではないことを意味する( $^{\text{NOT}} 7$ )とすることもできる。

指定される制限の形態には実際何らの制限がなく、曲げシーケンス・プランナのオペレータである人間と共に

様々なエキスパートを含む計画作成システム内の何れの実体でも制限の定義が可能である。制限一貫性の維持や制限間で生じる衝突の解決を支援するため、例えば曲げシーケンス・プランナ内に制限マネージャが設置される。

例を上げれば、制限形態には、(1)チャンネル(例、図26Bを参照)、(2)角度曲げ、ここでは曲げられるフランジの曲げ線が、別の曲げの曲げ線の非端ポイント部と交差し、隣接するもの(そして両方の曲げが同じ方向で実行される、例えばそれらは両方とも正の曲げである)(図27A参照)、(3)フランジ、曲げられる時、外部フランジと内部当接フランジでコーナを形成するもの(例、図27C参照)に対する制限が含まれる。

図26Bに示されるチャンネルの制限式は、通常、共通のヒューリスティックによれば、( $^3^* 2^* 1^*$ )の制限を指示し、内部曲げ線の曲げ前に外部曲げ線上の曲げが実行されることが望ましいが、( $^2^* 1^* 3^*$ )とする必要がある。この制限式上

の衝突は、もしそれが存在する場合、チャンネル制限( $^*2^*1^*3$ )を優先し解決されなければならない。

図27Aに示される対曲げの制限式は、以下のような。

$(^*2^*1)$

曲げ順序が異なる場合、即ち曲げ1が曲げ2の前に実行される場合、曲げ2のフランジは90度以上曲げることができず、よって適切に実行されない可能性がある(こ

れは、板金等の弾性傾向のある可鍛性材を曲げる時、パーツが曲げの目標角度を少し越えて曲げられる必要があるからである)。

図27Cに示す1対の曲げの制限式は、以下のような。

$(^*2^*1^*)$

この制限に従う重要性は、図25Dを参照しつつ上述の通りである。

曲げシーケンス・プランナのオペレータである人間(或はシステムの別のエキスパート・サブプランナ)は、ソルーション曲げシーケンスのサーチを行う時、パーツ側面間の交換によりそれほど時間が取られないよう、各パーツ側面上の全ての曲げをグループ化する制限式を適宜定める。図27Bでは、各パーツ側面上の数種の曲げが示されており、そこでは例えば以下の制限式を使い、各側面の曲げをグループ化するのが適当である。

$(^*\{12\}\{34\}\{56\}^*)$

制限は衝突するため、その衝突を解決する機構を設ける必要がある。上述のように、この目的のため、曲げシーケンス・プランナ内に制限マネジャが設置される。可能優先順位付けスキームは、高い優先順位を有する制限式を単に排除、或は無視することが可能である。制限式に割り当てられる優先順位は、それがどういう形態の制限かに依存する。例えば、人的入力制限に最も高い優先順位が割当てられ、機械制限、パーツ制限、最適化制限

にはそれぞれ低い優先順位が付けられる。従って、機械制限が第2の高い優先順位、パーツ制限が第3、最適化制限が第4(つまり最も低い)とすることができます

る。

人的入力制限は、人的インターフェースを通し曲げシーケンス・プランナを制御し、人間であるオペレータにより入力される制限である。機械制限は、機械と工具だけの制限により決定される制限である(例、チャンネル制限)。パーツ制限は、パーツの特徴により決定される制限である(例、内部、外部当接コーナの存在による制限)。最適化制限は、曲げシーケンスのサーチ速度を上げるために作成される制限である(例、パーツ特定側面上の曲げをグループ化するための制限)。

制限式間で衝突があるかどうか判定するために、まず所定の1対の制限式内の共通操作の有無をチェックするアルゴリズムが提供される。制限式間で共通の操作がある場合、次にそれらは、衝突するかどうか判定するため一体化される。例えば、( $1^* 2^*$ )が( $2^* 3^*$ )と合体される場合、結果として生じる制限式は( $1^* 2^* 3^*$ )となる。 $(1^* 2^*)$ が $(2^* 1^*)$ 等の衝突式と合体される場合、それは結果的に無効となり、それにより制限式がお互いに衝突することが示される。

#### (a.3) 共直線（と互換）曲げ

2つの曲げが共直線、例えば図8の曲げ5, 6である曲げ線を有し、それらが互換である場合(つまり、同じ曲げ角度、同じ曲げ半径等の同時の曲げを許容する実行

を許可する特徴を有する)、曲げの同時実行が望ましい。この目的で、共直線曲げの同時曲げが望ましく、よってサーチにより形成される曲げシーケンスの一部となる可能性がより高くなるように曲げシーケンス・プランナが実行するサーチに影響を与えるため、ヒューリスティックが提供される。更に、或は代わって、制限が、もし可能であれば(つまり、制限式がより優先順位の高い制限式と衝突しない)、ある互換共直線曲げが同時に実行されることを要求するための制限式を使用して指定される。

#### (b) 曲げシーケンス・プランナの状態・空間サーチ・アルゴリズム

状態・空間サーチ・アルゴリズムにおいて、目標状態を記述する式が得られるまで演算子を状態記述に適用することにより、ソルーションが得られる。状態・空間サーチ方法では、開始ノードが初期状態記述と関連付けされ、開始ノードの

続きが、ノード関連の状態記述に適用可能な演算子を使用して算出される。ノードの続き全てを算出することにより、ノードは拡大される。

各続きのノードから戻ってその親ノードまでポインタが設けられる。ポインタは、後で目標ノードが最終的に判明した際に、開始ノードまで戻るソルーション経路を示すため使用される。

続きのノードは、目標ノードを記述するものかどうかを見るため、続きのノードに対応する関連状態記述をチェック

ツクすることにより、それらが目標ノードかどうかチェックされる。目標ノードがまだ見つけられていない場合、ノードの拡大工程と対応するポインタの設定とが継続する。目標ノードが判明したら、ポインタを開始ノードまで戻って追跡し、ソルーション経路が生成される。次に、経路弧に関する状態記述演算子が、ソルーション・シーケンスに組み込まれる。

上記工程は、状態空間サーチ・アルゴリズムを形成する。上記アルゴリズムの変化は、ノードが拡大される順序により定められる。ノードがその生成順序で拡大される場合、そのサーチ方法は、幅優先方法と呼ばれる。最も最近生成されたノードがまず拡大される場合、その方法は奥行き優先方法と呼ばれる。幅優先・奥行き優先方法は、ノードが拡大される順序が目標ノードの位置の影響を受けないようにするために、めくらサーチ・アルゴリズムである。

グラフの全体的性格と目標の一般的な方向に関するヒューリスティック情報は、サーチ工程の修正に利用可能である。このような情報を用いて、まず最も有望なノードを拡大するため、目標に向けてのサーチの方向付けが支援される。1形態のヒューリスティック・サーチ方法は、例えば前記の「人工知能における問題解決方法」(ニルズ・J・ニルソン)で述べられている。

幅優先或は奥行き優先等のめくらサーチ・アルゴリズムは、目標ノードに対するソルーション経路探索のアプローチが徹底している。アプリケーションにおいて、ソルーション経路が判明する前にサーチが過度数のノードを拡大してしまうため、このような方法の使用は

非実際的であり、時間浪費的であることが多い。このような徹底したノードの拡大では、各ノード関連の情報を記憶するためより多くのコンピュータ・メモリが使用され、また例えばノードの拡大及びポイントを算出するのにより時間が要される。従って、めくらサーチに代わる効率的な方法が望ましい。ヒューリスティックは、グラフで記述されている問題に関して有効な特別情報に基づき、サーチ焦点合わせの支援に適用される。サーチ焦点合わせの1方法は、各拡大ノードの続き数を減少することである。サーチ焦点合せの別の方法は、サーチが最も有望に見えるノードに向け外側に拡大できるよう、ノード拡大順序を修正することである。ノード拡大順序を修正するサーチ・アルゴリズムは、順序化サーチ・アルゴリズムと呼ばれる。順序化サーチ・アルゴリズムは、目標ノードへの最良経路上に最も位置する可能性のあるノードを判定するための拡大候補であるノードを等級付けする評価機能を使用する。順序化サーチ・アルゴリズムの操作では、拡大に有効な各ノード  $n_i$ において値  $f$  が判定される。ここで、 $f$  は、ノード  $n_i$  を通過するよう制限された開始ノードから目標ノードまでの最小コスト経路のコスト概算である。次に、拡大シーケンスにおいて、最小  $f$  値を有する各続きのノードが選択され

る。

図20Aは、順序化サーチ・アルゴリズム生成のツリーを示す図である。図において、順序化サーチ・アルゴリズムは、ボックスの4側面1, 2, 3, 4を形成するため上方に曲げられる4部を有するブランクワークに適用されている。ボックスの各符号側面は、曲げ1, 曲げ2, 曲げ3, 曲げ4を含む特定曲げに対応する。

ブランクワーク（原パート）は、ワークの初期状態記述に関連するルート・ノードとも呼ばれる開始ノード  $n_0$  に対応する。開始ノード  $n_0$  の続きは、続きノード  $n_1, n_2, n_3, n_4$  を形成するため開始ノード（ルート・ノード）を拡大することにより算出される。このサーチ・レベルでは、ノード  $n_1 \sim n_4$  は、それぞれ曲げ1, 曲げ2, 曲げ3, 曲げ4に対応する。

ノード1は、それぞれ曲げ2, 曲げ3, 曲げ4に対応する続きノード  $n_5, n_6$

,  $n_7$ と、そしてワーク上のロボット・グリッパの掴みの再位置決定（つまり、レポ）に対応する追加の続きノード $n_8$ を含むように拡大される。ノード5は、それぞれ曲げ3, 曲げ4に対応する続きノード $n_9, n_{10}$ と、そしてレポに対応する追加の続きノード $n_{12}$ を含むよう拡大される。ノード $n_9$ は、それぞれ曲げ4とレポに対応する続きノード $n_{13}, n_{14}$ を有するよう拡大される。ノード $n_{14}$ は、結果としてワークの最後の曲げとなるため、目標ノードである続きノード $n_{15}$ を有するよう拡大される。

曲げシーケンス・プランナ72は、曲げワークステーションにより実行される完全な曲げシーケンスを作成するため、最良優先・状態空間サーチを実行するよう構成されるのが望ましい。順序化サーチ・アルゴリズムは、評価機能を利用し、目標ノードへの最良経路上に最も位置する可能性のある、つまり最良ノードであるノードを判定するための拡大候補ノードを等級付けする。図20Aに示すように、第1ノードは平坦パーツに対応する。各サーチ・レベルにおいて、OPENリスト上の最良ノードが拡大され、拡大されたノードはOPENリストから取り除かれる。ある操作の順序に制限があるかどうかに応じ、拡大されたノード全て、或は一部がOPEN上に載せられる。OPEN上に載せられる拡大ノードは、制限のため排除されたものを差し引いた残りの曲げ操作に対応する。

本発明の特定実施例によれば、ワークの1側面からワークを保持する間の曲げ操作に対応する第1双子ノードと、同じ曲げの実行に対応するが、一方でワークの他方側面からワークを保持する第2双子ノードとを含む各曲げに対応する双子ノードが存在する。OPEN上に載せられる拡大ノードには、ワーク上でのロボット・グリッパの掴みの再位置決定（つまり、レポ）を表すノードも1つ含まれる。本発明の更なる特徴によれば、サーチのあるレベルが、レポのノードを含まないよう制限される。これは、ひとつのサーチ・レベルでレポを実行し、

すぐ隣のレベルで再びレポを実行することに意味がないからである。従って、レポが当面の親ノードで実行される場合、次に曲げシーケンス・プランナ72は、OPEN上のレポ・ノードの交換を制限する。

図20B, 20Cは、それぞれ2面262、1本の曲げ線260を有するワーク16の簡単な例を示す図である。更に、各図20B, 20Cには、ルート・ノード $n_0$ から2個の拡大ノードを含むサーチ・ツリーの第1レベルまでのノード拡大を示す図が付随されている。図20Bでは、2個の拡大ノードが示され、図20Cでは1個の拡大ノードが示され、他のノードが制限されていることを表している。図20Bにおいて、ワーク16上で1つの曲げのみ実行されるため、2個のノードだけ示されている。曲げは、ノード $n_1$ に従い実行され、それにより曲げ1が、面2が曲げワークステーションのダイ空間内に挿入されて実行され、或は曲げ1は $n_2$ に従い実行され、それにより曲げ1は、面1がダイ空間内に挿入されて実行される。図20Cにおいて、ワーク16が曲げ線260に沿って曲げられると、面1が、結果的に、曲げ実行の際、ワークのその側面ではワーク16が拘めない程低い高さを有するフランジ1になる。従って、曲げ線260に沿って曲げを実行するためには、ワーク16が、ロボット・グリッパにより面2に対応するワーク16の側面から拘まることが必要である。換言すれば、曲げ1は、面1がダイ空間内に挿入された状態で実行し

なければならない。従って、図20Cに示すサーチ・ツリーには1個のノード $n_1$ しか含まれておらず、親ノード $n_0$ が第2ノードを含むよう通常拡大される一方、第2ノードが制限されていることを示している。

ノードは、それを曲げシーケンス内での操作可能性の考慮から排除することにより制限される。このようなノードの排除は、拡大のときそのノードを含まないようにし、或は単にそのノードをOPENリスト上に載せないことにより達成される。

図20Dは、曲げ線1, 2の2つの共直線曲げを有するワーク16の例を示す図である。このワークから生成されるノードには、次が含まれる。つまり、(1, 2)、(1, 1)、(2, 2)、(2, 1)、((12), 1)、((12), 2)である。慣例上、保持面は、共直線曲げの第1曲げ線の各側面に定められる。図20Eでは、ワーク16の別の例が示されている。この共直線曲げ（線1, 2での同時曲げ）の保持側面は、次の双子ノードで定められる。((12), 1)、((12), 2)である。面1は曲げ線の他側面にも伸びる

が(即ち、曲げ中にダイ空間後の位置まで伸びる)、曲げ双子保持面は面1となることに注目すべきである。これは、曲げ双子保持面の選択に使用される前記慣例のためである。

図21は、状態サーチ・アルゴリズムの実施例を示すフローチャートである。このアルゴリズムは、曲げステーションにより利用される曲げシーケンスを形成するために本発明の曲げシーケンス・プランナにより利用さ

れる「人工知能における問題解決方法」(ニルズ・J・ニルソン)に開示のアルゴリズムに基づく順序化サーチ・アルゴリズムより構成される。アルゴリズムの開始後、ステップS10において、開始ノード $n_0$ がOPENと呼ばれるリストに載せられ、機能値 $f$ が0と等しく設定される。その後、ステップS12において、OPENリストに何かあるかどうかの判断が行われる。OPENリストが空の場合、処理工程はステップS14に進み、エラー表示が与えられる。ステップS12でOPENリストが空でないことが判定されると、処理工程はステップS18に進む。

ステップS18では、OPENリスト内に載せられたノードがチェックされ、最小の $f$ 値を有するノードがOPENから取り除かれ、CLOSEDリストに載せられる。このノードは $n_1$ と呼ばれる。その後、ステップS20において、ノード $n_1$ が目標ノードかどうかの判定が行われる。目標ノードであれば、処理工程はステップS22に進み、そこでノード $n_1$ から、そのポインタ及び前ノードのポインタを通り、ノード $n_0$ まで逆に追跡することによりソルーション経路が生成される。一方、ステップS20でノード $n_1$ が目標ノードでないと判断されると、処理工程はステップS24に送られる。ステップS24では、ノード $n_1$ が、その続きのノード $n_2$ 全てを生成するよう拡大される。続きノード $n_2$ が1つもない場合、処理工程はステップS12に戻る。生成さ

れた各続きノード $n_2$ に対しては、対応する $f$ 値、 $f(n_2) = k'(n_1) + h(n_2)$ 、が算出される。ここでは、 $k'$ は、開始ノードから現在ノードまでの各ノード実行の $k$ コストの合計に等しく、 $h$ は、現在ノードから目標ノードまでの予想コストに等

しい。また、ステップS24において、各算出f値は、OPEN、或はCLOSEDリストに未だ載っていないその対応続きノード $n_j$ と関連付けされる。このような続きノード $n_j$ は、次にOPENリストに載せられ、ポインタが、それらの続きノード $n_j$ から逆に $n_i$ に方向付けされる。OPEN、あるいはCLOSEDリストに既に載せられている各続きノード $n_j$ については、そのノードについてちょうどそのとき算出されたf値とそのノードにすでに関連付けされたf値のうち小さい方に等しいf値が、その続きノード $n_j$ に関連付けられる。その関連付けされたf値がより小さくされるCLOSEDリスト上の続きノードは、OPENリスト上の載せられ、それらの続きノード $n_j$ についてのポインタが再び $n_i$ に方向付けされる。ステップS24の実行後、処理工程はステップS12に戻る。

#### (c)図示の曲げシーケンス・プランナ

図22A～22Dは、図5Aに示す曲げシーケンス・プランナ72により実行される曲げシーケンス計画作成工程の特定実施例を示す図である。曲げシーケンス計画作成工程は、例えばステップS26に示すように、FEL命令受取りから計画作成開始に進むことにより、操

作開始命令を受け取った時に開始される。開始後、処理工程はステップS28に進み、製造されるパートに対応する1個以上のファイルが、曲げシーケンス・プランナにより読み出される。このようなファイルは、形状ファイル形態であり、幾何形状及び形態情報(パートの3次元データ記述や、3次元データ記述に対応するパート平行2次元データ記述)、曲げシーケンス・プランナが行う判定に関連するラベル付き幾何形状特徴や、実行される曲げを幾何形状及び形態情報と相互関連させる曲げグラフ等の情報が含まれる。

ステップS28でパートファイルが読み出されると、処理工程はステップS30、S32、S34に進み、その間に各エキスパートが初期化される。より詳細には、保持エキスパート、工具だけエキスパート、運動エキスパートがそれぞれ初期化される。種々のエキスパートが初期化されると、ステップS36において、曲げリストが作成され、パートの様々な特徴に関する算出が行われる。例え

ば、曲げの長さはどれだけかやどの曲げが共直線を有するかについて、計算が行われる。その後、ステップS38において、OPENリストへのルート・ノードn<sub>i</sub>の載置、f値の0設定等の工程も含め、A\*アルゴリズムが初期化される。次に、ステップS40において、OPENリストが空かどうかの判定が行われる。リストが空の場合、処理工程はステップS42に進み、エラー表示でそこを出る。一方、OPENリストが空でな

ければ、処理工程はステップS44に進み、そこで最小のf値を有するOPENリスト上のノードが取られ、CLOSEDリストに載せられる。選ばれたノードは、図22A～22Dのフローチャートの工程を説明するため、n<sub>i</sub>と称することとする。

ステップS46において、ノードn<sub>i</sub>が目標ノードかどうかの判定がなされる。ノードn<sub>i</sub>が目標ノードであれば、処理工程はステップS48に進み、ソルーション経路が生成される。一方、n<sub>i</sub>が目標ノードでない場合、処理工程は、図22Cの上部に示すステップS50に進む。

ステップS48でソルーション経路が生成されると、処理工程は、図22Dの上部に示すステップS56に進む。ステップS56では、曲げシーケンスと共に終了メッセージが各エキスパートに送られ、各エキスパートは、曲げシーケンス計画の完成に必要な最後の詳細な情報を求められる。その後、ステップS58において、曲げシーケンス・プランナが、工具だてエキスパートからの答えを待つ。工具だてエキスパートから最後の情報を全て受け取ると、ステップS60で、曲げワークステーションの設定が開始される。ワークステーション設定が実行されている間に、ステップS62で、処理工程は、運動エキスパートと保持エキスパートからの答えを待つ。完全な運動エキスパート及び保持エキスパート計画が受け取られると、ステップS64において、最後の計画

がシステムのシーケンサに送られる。

n<sub>i</sub>がステップS46において目標ノードであると判定されない場合、処理工程は、図22Cの上部に示すステップS50を継続する。この工程では、ノード

$n_1$ が、その続きノード $n_2$ を得るため拡大される。続きノードには、各曲げの曲げ双子ノード、つまり各曲げに対応する2つのノードとレボ用の追加ノードとが含まれ、現在レベルのサーチでは続きノードとなることが制限されている何れのノードも排除されている。

ステップS50で続きノードが生成されると、ステップS52でサブ計画作成とコスト割当て工程が実行される。その後、ステップS54において、続き $n_2$ は、OPENリスト内の各ノードと関連付けされる（例えば、ポインタを使うことにより）各ノードに対応するサブ計画情報とコスト情報を有し、それぞれOPENリストに載せられる。次に、処理工程はS40に進み、OPENリストが空かどうかの判定がなされる。OPENリストが空であれば、ステップS42でエラー表示となり、処理工程は退出する。或は、処理工程は、再びステップS44, S46, S48, S50, S52, S54を実行する。

図23A～23Dは、図22A～22Dに示す曲げシーケンス計画作成工程でのステップS52に対応するサブ計画作成とコスト割当て工程を示す図である。サブ計画作成とコスト割当て工程は、現在レベルのサーチで

は制限により有効ノードとして排除されていない各拡大・続きノードに対応するサブ計画、インクレメント・コストを判定、或は形成する。このような拡大・続きノードのそれぞれに対して、図23A～23Dに示す処理工程が実行される。第1ステップS66において、保持エキスパートのサブ計画、コストに関して、ノード $n_2$ の交換可能性試験が行われる。より詳細には、保持エキスパートにより決定されるサブ計画及びコストが、別の「同等」ノードに対して既に決定されたのと同じかどうか判定するための試験が行われる。そうである場合、サブ計画とコストはその「同等」ノードと同一であり、そのような情報を保持エキスパートに再び求める必要がなくなり、結果的に時間の浪費が避けられる。ステップS68において同等ノードが判明されると、次に処理工程はステップS70に進み、サブ計画とコストがコピーされ、続きノード $n_2$ と関連付けされる。一方、ステップS68で同等ノードが見つけられない場合、処理工程はステップS72に進み、曲げシーケンス・プランナが、保持エキスパートに対して、提案されたサ

ブ計画、インクレメント  $k$  コスト、インクレメント  $h$  コストについて尋ねる。ステップ S 7 2 の実行において、保持エキスパートにより無限コストが得られると、直ちに現在の続きノード  $n_j$  が廃棄される。従って、現在レベルのサーチで続きノード  $n_j$  が排除され、サブ計画及びコスト割当て工程が、次の有効な続きノード  $n_j$  で再び開始される。

ステップ S 7 0 或は S 7 2 のどちらかにより、サブ計画とコストが得られると、処理工程はステップ S 7 6 (図 23B の上部) に進み、工具エキスパートのサブ計画及びコストに関して、別の交換可能性試験が行われる。ステップ S 7 8 で同等のノードが見つけられた場合、曲げシーケンス・プランナは、同等ノードに対応するサブ計画及びコストをコピーし、それを現在の続きノード  $n_j$  に関連付けする。代わって、同等ノードが見つけられない場合、処理工程はステップ S 8 2 に進み、工具だけエキスパートが、提案のサブ計画、 $k$  コスト、 $h$  コストについて尋ねられる。無限コストが得られると、ステップ S 8 4 で現在の続きノードが廃棄される。提案のサブ計画とコストが判定されると、処理工程はステップ S 8 6 に進み、曲げシーケンス・プランナは、保持エキスパートと工具だけエキスパートからの結果を待つ。処理工程が保持エキスパートと工具だけエキスパートへの質問結果を待つののは、運動エキスパートがそのサブ計画作成とコスト割当て計算を行うためにそのような情報が必要であるからである。

ステップ S 8 8 において、運動エキスパートのサブ計画及びコストに関して、交換可能性試験が行われる。即ち、運動エキスパートにより割り当てられるサブ計画及びコストが、別のノードに対して既に割り当てられたものと同等かどうか、よってその別のノードが評価中の現在の続きノードと「同等」のノードであると見なすこと

ができるかを、判定するための試験が行われる。ステップ S 9 0 で同等ノードが見つけられなかった判断される場合、処理工程はステップ S 9 2 に進み、同等ノードのサブ計画とコストがコピーされ、それにより現在の続きノード  $n_j$  と関連付けされる。一方、同等ノードが見つからない場合、処理工程はステップ S 9 4

に進み、提案のサブ計画、 $k$ コスト、 $h$ コストについて運動エキスパートに質問がなされる。コストの何れかが無限であれば、現在の続きノードが廃棄され、次の続きノードに進み、該次のノードに対して再び開始サブ計画作成及びコスト割当てが行われる。提案されたサブ計画及びコストが得られたら、処理工程はステップS98に進み、運動エキスパートからの結果を待機つ。曲げシーケンス・プランナにより提案される全体的曲げシーケンスの実行に関連するシステムの種々態様に関するサブ計画及びコストを得るために、追加の処理が実行される。この点に関し、符号S100が示すように、追加のエキスパートが提供される。例えば、図5Aに検知エキスパートが示されている。サブ計画作成及びコスト割当ては、交換可能性の試験や、提案のサブ計画及びコストについての追加工エキスパート（例、検知エキスパート）への質問や、処理工程内での適当な位置における追加工エキスパートからの結果待ち等の工程を含むよう、適宜修正可能である。

#### ステップS98での運動エキスパートから結果獲得

が判別されると、処理工程は、図23Dの上部に示すステップS102に進む。ステップS102では、式 $f_{n_j} = (k' + h)_{HE} + (k' + h)_{TE} + (k' + h)_{NE}$ に従い、ノード $n_j$ の $f$ 値が算出される。次に、ステップS104において、続きノード $n_j$ に関連する何れかのヒューリスティックに基づき、その $f$ 値が調整される。この点に関して、所望のノード、つまりこのノードが他のノードより好適でありと言えるような有益な或は所望のヒューリスティックである場合、値が該 $f$ 値に付加される。一方、所望のノードでない場合、値が該 $f$ 値から引き算される。

図24は、平坦ワーク16の例を示す図であり、曲げシーケンス・プランナによる状態・空間サーチの実行中に拡大される数種のノードが示されている。サーチ処理を通して割り当てられる様々なコストも示されている。図示のように、平坦ワーク16は、フランジを形成するために曲げられる2つの部分a, bを有している。第1フランジは、2つのタブc, d間に設けられている。第1フランジaは曲げ線1に沿って曲げられ、第2フランジbは曲げ線2に沿って曲げられる。サーチ・ツリーの第1ノード $n_0$ 、つまりルート・ノードは、平坦制作品16に対応する。ノード $n_0$ の続きノードには、それぞれ曲げ線1, 2に対応するノ

ード  $n_1$ ,  $n_2$  が含まれる。図示の例では、曲げ線 1 に沿った曲げは、フランジ a が曲げプレスのダイ空間内に挿入されて実行され、曲げ線 2 に沿った曲げは、フランジ b がダイ空間内に挿入され

て実行されると仮定されている。従って、図 24 のツリーに示すような曲げ双子は 1 つもない。各曲げ線に 1 つのみのノードである。

曲げシーケンス・プランナが、各曲げに曲げ双子ノードを割り当てるよう設計される場合、この例では別のノードが制限される可能性がある。例えば、フランジ a が非常に短く、よって曲げ実行中のロボット・グリッパが掴むことができないため、フランジ b を曲げプレス内に挿入し曲げ線 1 に沿って曲げを実行できる可能性はほとんどない。

第 1 レベルのサーチでは、続きノードとして 2 個の続きノード  $n_1$ ,  $n_2$  が生成される。これら 2 個のノード形成において、曲げシーケンス・プランナは、そのノードに対応するインクレメントコスト (h, k コスト) について、保持エキスパート、工具だけエキスパート、運動エキスパートのそれぞれに対して質問をする。例えば、ノード  $n_1$  に割り当てられるコストが、図 24 のそれと対応するボックス内に示されている。保持エキスパートは、k コストに 0 を割り当っている (即ち、親ノード  $n_0$  から現在ノードへの移動に要するコスト)。これは、掴み位置がワーク 16 上で容易に見つけ出され、また曲げシーケンスの第 1 曲げとして曲げ 1 を実行する前に、ワーク上でのロボットの掴みを再位置決定する必要があることを意味している。保持エキスパートでは、更に h コストに 30 を割り当っている。数 30 は、ワーク 16 上

においてグリッパの掴みを再位置決定するのに (つまり、レポを実行するために) 要するおよその時間 (30秒) を表している。この数値は、保持エキスパートが、ワーク 16 に関連しての曲げシーケンスを完了するために、1 回のレポが必要であることを予想したことを示す。h コストは、現在ノードから最後の目標ノードまでの曲げシーケンスを完了するための予想コストである。

工具だけエキスパートにより割り当てられたコストには、600 の k コストと

600のhコストが含まれている。kコストは、そのノードの曲げの実行に関連した時間のインクレメント（工具だてのため）である。この場合、曲げ線1の曲げを実行するために、曲げワークステーションのダイ・レールに第1ステージが設定されなければならない。第1ステージのおよその設定時間は600である。従って、 $n_0$ から $n_1$ までのインクレメントkコスト（工具だてのため）は600秒となる。ノード $n_1$ から目標ノードまでの予想追加コスト（つまり、工具だてhコスト）は、ステージを1つ追加するのに必要な時間として算出され、よって600秒となる。

運動エキスパートにより割り当てられたコストには、ノード $n_0$ からノード $n_1$ までのおよそのロボット走行時間に等しい5（概算5秒）のインクレメントkコストが含まれている。運動エキスパートにより割り当てられたコストには、これまで（ $n_0$ から）評価された全kコストの運転平均に残りの曲げ数と予想レポ数の2倍の合

計を掛け算したもの、つまり、 $h=k_{ave} [残りの曲げ数 + (予想レポ数) (2)]$ 、である15秒の将来の予想hコストが含まれている。予想レポ数は、再位置決定には2つの移動が必要であるため、2で掛け算される。1つは、ロボットの現在のステージからレポ・グリッパへの移動であり、第2は、パーツ上におけるロボット・グリッパの掴みの再位置決定に要されるものである。次のノードのk値は、レポ・グリッパを次の曲げの適当なステージに移動させるのに要する時間に基づき算出される。

第1レベルのサーチにおける別のノードは $n_2$ である。このノードは曲げ線2に対応する。インクレメントコストには、保持エキスパートにより割り当てられるk, hコスト、工具だてエキスパートにより割り当てられるk, hコスト、運動エキスパートにより割り当てられるk, hコストが含まれる。保持エキスパート割り当てのk, hコストはそれぞれ0, 30である。保持エキスパートは、ノード $n_0$ からノード $n_2$ に移動するのに何ら再位置決定が必要でないため、kコストに0を割り当てている。一方、曲げシーケンス全ての曲げを完了するため、即ち、目標ノードに達するため、1回のレポが必要であると予想される理由から、

保持コスト  $h$  には 30 が割り当てられている。これは、ワーク 16 を見れば明らかである。まずどの曲げが実行されるかに応じ、曲げがワーク 16 の相対する側にあることから、他の曲げを実行するためには、ワーク上のロボットの掴みをワーク 16 の他の側

に再位置決定する必要がある。更に、ワークは少し狭いため、両方の曲げで同じ位置にワークが掴むことができるよう、ロボット・グリッパをワーク 16 の左或は右側に位置付けすることは不可能である。ロボット・グリッパがワーク 16 の一方側に位置する場合、曲げ実行のためダイが持ち上げられる時、ロボット・グリッパが曲げプレス（パンチ工具）と衝突する可能性が高くなる。

工具だけエキスパート割り当ての  $k$  コストは、曲げがサーチにおいて導かれる第 1 の曲げであり、少なくとも 1 つのステージが必要となるため、600 である。600 秒はステージ設定に要するおよその時間であり、従って、ノード  $n_0$  からノードまでのインクレメント  $k$  コストとして割り当てられている。工具だけエキスパート割り当ての  $h$  コストは、ノード  $n_2$  から目標ノードまで移動するのに追加のステージが必要であると予想される理由から、600 である。運動エキスパートでは、 $k$  コストに 4、概算  $h$ （将来）運動コストに 12 が割り当てられている。ノード  $n_2$  に対する運動エキスパートにより割り当てられる  $k$  コストは、ノード  $n_1$  に対しての割り当て  $k$  コスト以下である。これは、曲げ線 2 が曲げ線 1 より長く、よってより大きなステージを必要とするためである。図 1 に示すアマダ BM100 ワークステーション等、一般の曲げワークステーションでは、ダイ・レールの中央により長いステージが設置され、端に行くほど短いステージとなることが望ましい。よって、何れの

曲げも実行されていない初期位置（ノード  $n_0$ ）から中央ステージへの移動には、ダイ・レールの端の方にあるステージへの移動に比べロボットの移動が少ないことになる。従って、衝突を考慮に入れなければ、曲げ 2 の実行におけるローダ・アンローダ (L/UL) から中央ステージへの算出ロボット走行時間は、4 秒と評価され、ダイ・レールに沿ってより小さいステージが設置されるダイ・レールの左側

に位置するステージへの到達時間以下である。 $h$ コストは、これまで算出された $k$ コストの現在の運転平均関数として算出されるため、 $h$ コストも12秒という低い値である。

第1レベルのサーチにおいて、曲げ1、2を実行するための各合計インクリメントコストは、1250, 1246である。従って、ノード $n_1$ は1250の合計インクリメントコストを有し、ノード $n_2$ は1246の合計インクリメントコストを有している。この場合、合計コストは、曲げシーケンス・プランナにより問われる各エキスパートにより割り当てられるものである。

第1レベルのサーチでの2個のノードのみに、曲げ1を実行するための1つのノードと、曲げ2を実行するための1つのノードが含まれていた（ノード $n_1, n_2$ ）ことを理解する必要がある。第1レベルでは、レポ実行用のノードは含まれていなかつた。これは、ルート・ノードがレポを含まない後に第1レベルで第1曲げが実行されるように、サーチが制限されるからである。ロボット：

グリッパは、何れの特定曲げにも対応するよう、開始時点でどの位置でも載置できるため、曲げシーケンスにおける第1工程としてレポが実行される必要はない。一方、次のサーチ・レベルでは、目標ノードに達する残りの曲げを含む1個以上の曲げに加え、レポが可能ノードとして含まれる。従って、次のサーチ・レベルには、曲げ1に対応するノード $n_3$ 、曲げシーケンス内の次の曲げ実行前のレポに対応するノード $n_4$ が含まれる。ノード $n_3$ では、曲げシーケンス・プランナにより質問を受けると、曲げ1の実行にも使用可能な曲げ2を実行するのに使われた掴み領域が1つも有効でないため、保持エキスパートが無限コストを割り当てる。曲げ1の実行にも使用可能な曲げ2を実行するために使われた掴み領域が存在する場合、ロボット・グリッパはその交差領域内に配置可能となり、完了した曲げ2から曲げ1（つまり、ノード $n_2$ からノード $n_3$ ）に移動する時、グリッパに再位置決定は必要ではなくなる。しかし、この場合、保持エキスパートがそのような掴み領域の交差はひとつもないことを判定しており、よって保持のためのインクリメント $k$ コストは無限である。曲げシーケンスにおける現在ポイントでは曲げ1の実行は不可能であるため、予想 $h$ コストは適切ではなく、また工具

だてエキスパート、運動エキスパート等、他のエキスパートにより割り当てられる他のコストの何れも適切ではない。従って、ノード  $n_3$  はもはや考慮されず、曲げシーケンス・プランナ

はレポ・ノード  $n_4$  に進み、そのノードと関連する割り当てコストについて、各エキスパートに質問する。

レポ・ノード  $n_4$  後、保持エキスパートは  $k$  コストとして 30 を割り当てる。これは、曲げシーケンスの現在ポイントにおいてレポを実行するためにおよそ 30 秒必要であることを意味する。現在ノード  $n_4$  から目標ノードまでレポを追加する必要はないと予想されるため、保持エキスパートにより予想  $h$  コスト 0 が割り当てられる。保持エキスパートによるコスト割り当て後、工具だてエキスパートは、曲げシーケンス・プランナから質問を受けると、 $k$  コストとして 600 を割り当てる。これは、(曲げ線 2 の長さと等しい長さを有する) 曲げ 2 の実行で利用されたステージが、ワーク 16 のタブ部  $c, d$  間に一致しないため、曲げ 1 を実行するためには使用不可能となり、曲げ 1 を(曲げ線 1 に沿って) 実行するために必要なステージを追加するおよその時間に等しいものである。工具だてエキスパートにより、予想ステージは 1 つも追加されておらず、またどのような工具だて変更も予想されていない。従って、工具だてエキスパートは、ノード  $n_4$  関連では 0 の  $h$  コストを割り当てる。工具だてエキスパートは、まず、サーチ実行前のサーチにおける初期ポイントにおいて、曲げシーケンスの完了に必要なステージ予想合計に基づき、初期  $h$  コスト合計を判定する。本例では、ワーク 16 上での曲げ 1, 2 の実行ではステージが 2 つ必要であると予想されている

ため、初期  $h$  コストの合計は 1200 と算出される。サーチ全体を通して、 $k$  コストは 0 (余分のステージが必要ではない)、或は 600 (現在ノードに対応する曲げにステージの追加が必要な場合) のどちらかである。所定ノードの  $h$  コストは、初期  $k$  コスト合計から、その所定ノードを含んでその所定ノードに達するものについての先行する及び現在の  $k$  コスト全てを差し引いたコストに等しくなる。従って、ノード  $n_4$  では、 $n_4$  に達する先行の  $k$  コストは 600 であり、 $n_4$  の

現在の  $k$  コストは 600 であるため、 $h$  コストは、 $1200 - 600 - 600 = 0$  となる。

ノード  $n_4$  に対応するよう運動エキスパートにより割り当てられるコストには、8 の  $k$  コストと 4 の  $h$  コストが含まれる。 $k$  コストは、レポの実行には 2 つの動作が必要であるため、先行の平均  $k$  コストの 2 倍と推定される。1 つは、ワークを前の曲げで残されたステージからレポ・グリッパまで移動するのに必要な動作であり、第 2 は、レポ・グリッパがワーク 16 を掴んでいる間に、ロボット・グリッパを再位置決定された位置に移動させる動作である。レポ・ノードに対して運動エキスパートにより割り当てられる予想  $h$  コストは、曲げシーケンスでの将来の動作全てを実行するのに必要な予想追加コストである。この場合、 $h$  は、前のノード  $n_2$  から現在の  $k$  コストを差し引いて算出される  $h$  値と評価され、よってノード  $n_4$  では 4 秒と概算される。次に、インクレ

メントコストの合計が、そのノード（ここではレポ・ノード  $n_4$ ）に先行する全ての前  $k$  コストの合計に追加される。従って、ノード  $n_4$  関連全てのインクレメントが、1246 の合計コスト値を得るために、ノード  $n_2$  関連で前に算出された 604 の先行  $k$  コスト合計に追加される。

従って、曲げシーケンス・プランナは、その状態・空間サーチの実行において最良ノードとして  $n_4$  を選び、そのノードを拡大することによる続きノードの形成処理に進む。レポ・ノード  $n_4$  の続きノードには、ノード  $n_5$  が含まれる。この場合、ノード  $n_5$  は、結果的に 3 次元パーティを形成するためにその曲げ全てが完了したワーク 16 となるので、目標ノードである。相対エキスパートにより判定されるコストには、0 の予想保持  $k$  コスト、600 の算出工具だけ  $k$  コスト、4 の算出運動  $k$  コストが含まれる。現在ノード  $n_5$  が目標ノードと知られているため、 $h$  コストは 1 つも算出されていない。先行  $k$  コスト合計は、642 秒である。従って、642 が 600 の工具だけ合計  $k$  コスト及び 4 の運動  $k$  コストに追加され、1246 の合計  $f$  値と等しくなる。このような  $f$  値は、OPEN 上にまだ残っているノード間では、最も安価な  $f$  値である。従って、このノードが目標ノードかどうかチェックされ、目標ノードであれば、ノード  $n_2$  に対応する曲げ 2

、ノード $n_4$ に対応するレポ、ノード $n_5$ に対応する曲げ1を含むよう（この順序で）、ソル

ーション経路が生成される。

#### (d)交換可能性判断

前記のように、図23A～23Dに示すように、特定ノード関連のコストをエキスパートに質問する前に、各エキスパートのサブ計画及びコストに関する該ノードの交換可能性試験が行われる。例えば、図23Aの上部に示すステップS6において、特定続きノード $n_1$ の交換可能性試験が実行され、それが単に別のノードの交換であり、よって同等な1セットのサブ計画及びコストを有するかどうか判定される。そうであれば、提案されたサブ計画、関連kコスト、hコストについて、これらのパラメータは既に知られており、単に他の同等ノードを参照するだけで得ることができるため、保持エキスパートに再び尋ねることは無益である。図26には、曲げシーケンス・プランナがその状態・空間サーチの実行で生成したノード $b_6'$ と $b_6$ の変遷の比較グラフが示されている。特定ノード $b_6$ 上で曲げシーケンス性格作成アルゴリズムのサブ計画作成及びコスト割当てが実行されている場合、ステップS66（図23A）、S76（図23B）、S88（図23C）各所において、保持エキスパートのサブ計画及びコスト、工具だけエキスパートのサブ計画及びコスト、運動エキスパートのサブ計画及びコストに関して、サーチ・ツリーにおけるそのノードと他何れかのノードとの交換可能性試験が行われる。ノードが単にサーチ・ツリー内の別のノードとの

交換であるかどうかの試験では、例えば図26に示すノード $b_6$ 等のノードが、同図に示すノード $b_6'$ 等のサーチ・ツリー内の別のノードと比較される。この比較では、ノード $b_2, r_1, b_4, b_3, r_2, b_5$ を含むノード $b_6$ の変遷が、 $b_2', r_1', b_3', b_4', r_2', b_5'$ を含む $b_6'$ の変遷と比較される。

曲げシーケンス・プランナの特定実施と各エキスパートによる特定算出とに応じ、あるノードと別のノードとの交換を判定するのに使用される方法が変化する

。一方、どのような条件下においてノードがサーチ内の別のノードの単なる交換かを判断するため、ノードの様々な交換と、様々なレベルのサーチでの各ノードにと関連付けできる様々なサブ計画及びコストとに関する分析が可能である。分析結果に基づき、該ノードに割り当てられるサブ計画及びコストに関して、あるノードと別ノードとの交換性を判定する適切な方法が作成される。従って、上記例は、それぞれ保持エキスパート、運動エキスパート割り当てのノード交換可能性判断のためのものであるが、曲げシーケンス・プランナ、システムのエキスパートの特定、及び様々な実施形態に応じ、適当な方法の採用が可能である。運動エキスパートにより割り当てられるサブ計画及びコストに関しては、あるノードが別のノードと交換できるかどうか判断するため、同様の方法が提供される。従って、ここでは、そのような判定をするための具体的実施例については説明されていな

い。

### 3. エキスパートモジュール、サブ計画作成、モジュール間対話

図29～31は、図5Aに示すような計画作成システム71の実施例における曲げシーケンス・プランナ、保持エキスパート、工具だてエキスパート、運動エキスパート間の対話を示すチャートである。曲げシーケンス・プランナ72と保持エキスパート82間の対話を示す図29において、幾つか質問矢印Q1, Q2, Q3, Q4, Q5が示されており、それぞれ曲げシーケンス・プランナ72から保持エキスパート82に送られる質問メッセージを表している。更に、幾つか答えの矢印R1, R2, R3, R4, R5も示されており、それぞれ保持エキスパート82から曲げシーケンス・プランナ72への回答を表している。図29では1～5の連続数により質問及び回答が示されているが、これは、図29に示す質問、回答の間、前、後において質問・回答の追加ができないことを意味するものではない。むしろ、これらの数字は、単に図29に示すモジュール間の対話記述を支援するため提供されているものである。

サーチ開始前のあるポイント（例、図22AのステップS30）において、曲げシーケンス・プランナ72は、特に製造パーツの開始命令、ファイル名を含む

初期質問Q 1を保持エキスパート8 2に送る。この質問Q 1は、VERB「計画 . . .」(パーツ計画作成のモジュールの

初期化に使われる)を利用し送られる。質問Q 1を受け取ると、保持エキスパートは、次に製造パーツに関する幾何形状、形態、特徴情報等を含む適当なファイルの読み出しを含む入力操作P 1を実行する。より詳細には、保持エキスパート8 2は、ロボット・グリッパ、また一時レポ・グリッパの選択を含むグリッパ選択を実行する。更に、保持エキスパート8 2は、全体的曲げシーケンスを完了するのに必要な最小レポ数を予測する。P 1での初期計画作成工程の実行後、保持エキスパート8 2は、次に回答R 1を介し結果情報を曲げシーケンス・プランナ7 2に送り返す。この回答には、曲げシーケンス・プランナ7 2が保存すべき属性名のリストを含む保存リストが含まれる。保存リストには、更に、各属性名と共に、曲げシーケンス・プランナ7 2保存の各属性に付随するパラメータ、値が含まれる。この時点での曲げシーケンス・プランナ7 2に保存される属性には、選択されたロボット・グリッパ、一時選択されたレポ・グリッパ、曲げシーケンスの曲げ全てを完了するために必要な最小レポ予想数を示す値が含まれる。

回答R 1(例、図2 2Bに示す曲げシーケンス計画作成工程のステップS 38)、サーチが開始される。サーチ開始後、質問Q 2が保持エキスパート8 2に送られる(例、図2 3Aに示す曲げシーケンス計画作成工程のステップS 72)。質問Q 2には、曲げシーケンス情報、その特定ノード関連の提案サブ計画、kコスト、hコスト

トの要求が含まれる。この点に関しては、該質問を実行するため、「get」FEL命令が利用される。質問Q 2を受け取ると、保持エキスパート8 2は、次にロックP 2に示される計画作成工程を実行する。この工程には、現在提案されている曲げ関連操作の実行後に必要なレポ数の予想、掴み位置(つまり、現在提案されている曲げを実行するために、ロボットがワークを掴む位置)、可能性のあるレポ位置(ワーク上のレポ・グリッパの掴みのため)の判定が含まれ、また特定の提案曲げ関連操作についてのkコスト、hコストも判定される。プロッ

クP2での性格作成全てが完了すると、次に、保持エキスパート82は、曲げシーケンス・プランナ72への回答R2を送付する。この回答には、k及びhコスト、サブ計画、保持エキスパートから曲げシーケンス・プランナ72に送られる保存リスト内に指定され、曲げシーケンス・プランナ72により保存される様々な属性が含まれる。現在提案されているノードがレポ・ノードでない場合、kは0に等しいか、無限かのどちらかである。この場合、0は、現在ノードではレポは必要ではないことを表し、無限は、まずレポを実行しなければ、ワークをロボットが掴むための場所がないことを表している。h値は、現在ノードから目標ノードまでのレポ予想数の30倍（1回のレポに要する推定時間）に等しくなる。現在のノードがレポ・ノードであれば、レポが可能な場合kは30に等しくなり、現在ノードでの現在のサー

チ・レベルではレポが実行不可能な場合、無限となる。hコストは、現在ノードの曲げ関連操作の実行後必要なレポ予想数の30倍となる。

質問Q2と回答R2に関連する処理の実行後、次に、曲げシーケンス・プランナ72は、各サブ計画及びコストを得るために、工具だけエキスパート、運動エキスパートを含む他様々なエキスパートに質問を行い、開始ノードから目標ノードまでのノードを含む完全な曲げシーケンス計画を作成するため、サーチ期間中生成された各ノードに関連して、各エキスパートに繰り返し質問を行う。サーチが終了し、ソルーションが得られると、曲げシーケンス・プランナ72は、再びFELの「get」動詞を利用し、吸着器計画の要求を含む別の質問Q3を保持エキスパート82に送付する。質問Q3に答えて、保持エキスパート82は、ワークP3に示すような吸着器計画作成を実行する。吸着器計画作成には、ワークのロード・アンロード中に、ワーカローダ・アンローダに沿ってどの位置に吸着器が配置されるかの判定が含まれる。吸着器計画作成が完了すると、保持エキスパート82は、曲げシーケンス・プランナ72に回答R3を送付する。続いて、曲げシーケンス・プランナ72は、最終レポ・グリッパと、様々な曲げシーケンスステージでのワーク上のレポ・グリッパの位置について、質問Q4により再び保持エキスパート82に質問を行う。この質問では、FELの「get」動詞が

使用される。質問

Q 4 を受け取ると、保持エキスパート 8 2 は、サーチ後に実行されるレポ計画作成を含むブロック P 4 に示される計画作成を実行する。サーチ後のレポ計画作成実行において、保持エキスパート 8 2 は、結果的に生ずる曲げシーケンス計画の実行で利用される正確なレポ・グリッパを選び、選ばれたレポ・グリッパに基づきレポ位置を最終決定する。サーチ後、レポ計画が作成されると、保持エキスパート 8 2 は、曲げシーケンス・プランナ 7 2 に回答 R 4 を送付する。その後、質問 Q 5において、曲げシーケンス・プランナ 7 2 は、更にバックゲージ計画について保持エキスパート 8 2 に質問を行う。従って、保持エキスパート 8 2 は、ブロック P 5 に示すバックゲージ計画作成を実行し、回答 R 5 に適切なバックゲージ計画を記載し、曲げシーケンス・プランナ 7 2 に送付する。

サーチ後の最終計画作成を含め、保持エキスパート 8 2 による全ての計画作成実行が完了すると、曲げシーケンス・プランナ 7 2 は、その最終計画情報を運動エキスパート 8 4 に対して求めたことになり、その計画実行前に、運動エキスパート 8 4 からの最終運動計画結果が送られて来るのを待つ。運動エキスパート 8 4 から最終的運動計画を受け取ると、曲げシーケンス・プランナ 7 2 は、次に、シーケンサ 7 6 への最終計画の送付処理に進む。

図 3 0 に示す曲げシーケンス・プランナ 7 2 と工具だ

てエキスパート 8 0 間の対話では、曲げシーケンス・プランナ 7 2 からの質問が質問線 Q 1 1, Q 1 2, Q 1 3 として表されており、また回答も回答線 R 1 1, R 1 2, R 1 3 として表されている。第 1 の質問線 Q 1 1 では、サーチ開始前のある時点において(例、図 2 2 A に示す曲げシーケンス計画作成工程におけるステップ S 3 2), 曲げシーケンス・プランナ 7 2 は、工具だてエキスパート 8 0 にその処理を開始するよう命令し、F E L の「p l a n」という動詞を使い、製造されるパーツ名を送付する。入力線 1 2 が示すような質問 Q 1 を受け取ると、工具だてエキスパート 8 0 は、次に適当なパーツファイルを読み出す。続いて、工具だてエキスパート 8 0 は、ブロック P 1 1, P 1 2, P 1 3 に示す様々な計

画作成工程を実行する。これらの計画作成工程には、工具プロファイル、大箱梱包の選択、初期  $h$  値（曲げシーケンスの曲げ全てを実行するのに必要な予想ステージ合計数に対応する）の算出実行が含まれる。大箱梱包アルゴリズムは、合計すると曲げシーケンスの曲げ実行において曲げワークステーションにより利用される各ステージの適当なステージ長になる工具セグメントの選択より構成される。適当な計画情報の全てが計画作成ブロック P 1 1, P 1 2, P 1 3 に収集されると、工具だけエキスパート 8 0 は、回答線 R 1 1 に示すような回答を曲げシーケンス・プランナ 7 2 に送り、保存リストを介し、保存すべき様々な属性を曲げシーケンス・プランナ

7 2 に示す。続いて（例、図 2 2 B のステップ S 3 8）、曲げシーケンス・プランナ 7 2 がそのサーチを開始する。サーチが開始されると、保持エキスパート 8 2 から情報が収集され、曲げシーケンス・プランナ 7 2 は、サーチのそのポイントでの曲げシーケンス、サブ計画及び関連  $k$ ,  $h$  コストについての質問を含む質問 Q 1 2 を工具だけエキスパート 8 0 に送付する。この質問では、F E L の「get」動詞が利用される。次に、工具だけエキスパート 8 0 は、曲げに対応するステージ長の選択、その曲げが実行されるべきステージに沿っての位置、ステージ配置、 $k$  及び  $h$  コストの算出、微動計画作成の実行を含む計画作成ブロック P 1 4 に示される計画作成工程を実行する。次に、工具だけエキスパート 8 0 は、回答 R 1 2 を介して曲げシーケンス・プランナ 7 2 に答え、 $k$ ,  $h$  コスト、関連サブ計画情報を曲げシーケンス・プランナ 7 2 に送付する。プランナが保存すべき情報、属性を含む回答 R 1 2 には、保存リストも含まれている。工具だけエキスパート 8 0 や、更に他のエキスパート 8 2, 8 4 では、その後のサーチ全体を通しての質問、回答の授受も、サーチが終了する前に実行可能である。サーチが終了し、ソルーションが見つけられると（例、図 2 2 D に示す曲げシーケンス計画作成工程のステップ S 5 6）、工具だけエキスパートに終了を指示する質問 Q 1 3 が、工具だけエキスパート 8 0 に送られる。次に、工具だけエキスパート 8 0 は、その適切な最終処理を実行

し、回答R 1 3を介し、何れかの最終情報を曲げシーケンス・プランナ7 2に返却する。続いて、曲げシーケンス・プランナ7 2は、最終情報と、運動エキスパート8 4が行うべき最終処理を要求し、その結果を待つ。運動エキスパート8 4により最終運動計画作成結果が得られると、曲げシーケンス・プランナ7 2は、最終計画を作成するため全ての情報を編纂し、それをシーケンサ7 6に送付する。

図3 1に示すように、曲げシーケンス・プランナ7 2は、サーチ実行前、期間中、後に、質問線Q 2 1, Q 2 2, Q 2 3、また各回答線R 2 1, R 2 2, R 2 3が示す質問を含む質問及び回答の形態で、運動エキスパート8 4と通信を行う。まず(例、図2 2 Aに示すステップS 3 4)、第1の質問Q 2 1が、開始命令、製造すべきパーツ名を含む運動エキスパート8 4に送られる。質問Q 2 1を受け取ると、運動エキスパート8 4は、次に、適当なパーツファイルと、曲げシーケンスの様々な曲げ、操作の実行でそこを通してパーツ、ロボットが操作される自由空間チャンネルの全てを表すチャンネル・ファイルとを入力する。この入力は、1 3により示されている。その後、運動エキスパート8 4は、特に情報が読み込まれたことを示し、曲げシーケンス・プランナ7 2からの次の質問を受ける準備ができていることを示す回答R 2 1を曲げシーケンス・プランナ7 2に送る。その後しばらくして(例、図2 2 BのステップS 3 8)、曲げシ

ークエンス・プランナ7 2の状態・空間サーチが開始される。次に、曲げシーケンス・プランナ7 2は、第1レベルのサーチ実行中に、様々な情報を保持エキスパート8 2に対して求め、次に工具だけエキスパート8 0に質問をし、その後質問Q 2 2を運動エキスパート8 4に送付する。質問Q 2 2には、曲げシーケンス、グリッパ位置、ステージ上の曲げ位置(曲げマップの形態で)についての情報が含まれる。この質問は、F E Lの「g e t」動詞を使用し運動エキスパート8 4に送られる。質問Q 2 2を受け取ると、運動エキスパート8 4は、処理ブロックP 2 1の処理を実行し、次に、曲げシーケンスでのその特定ポイントにおいて、曲げシーケンス・プランナ7 2が提案する曲げを実行するためのサブ計画を作成し、k及びhコストを判定する。k, hコスト、サブ計画の結果は、回答R 2 2

で曲げシーケンス・プランナに返却される。その後、サーチを完了するため、他のエキスパート80, 82と、運動エキスパート84による追加処理が実行される。

サーチが終了し、ソルーションが得られると、曲げシーケンス・プランナ72は、終了命令を含む追加の質問Q23を送付する。質問Q23で、曲げシーケンス・プランナ72は、運動エキスパート84が全ての最終計画作成操作を実行できるよう、運動エキスパート84に情報を送付する。このような送付情報には、曲げシーケンスの各曲げ実行の時、ダイ空間へのワークの出し入れが

できるよう、曲げシーケンス、シーケンス内の各曲げのグリッパ位置、実行される各レポでのレポ位置、曲げシーケンスに対応する曲げマップ、工具だけエキスパート80により作成された全ての微動計画が含まれる。運動エキスパート84は、この情報を用い、処理ブロックP22に示される処理を実行する。より詳細には、運動エキスパート84は、全般的な運動計画を作成するために、様々な開始、終了ポイントを判定する。次に、全般的運動開始、終了位置間の経路を形成するために、サーチ・アルゴリズムが実行される。次に、ワークステーションのロード中に、ローダ・アンローダからのワーク獲得から始め、ワークを各曲げにもたらし、最後にワークステーションからアンロードされるよう、完成ワークをローダ・アンローダにもたらすまでの完全な運動計画が作成されるよう、結果として形成される全般的運動経路が微動経路と連結される。

次に、完全な運動計画は、回答R23で曲げシーケンス・プランナ72に返却される。完全な運動計画を受け取ると、曲げシーケンス・プランナ72は、その完全な計画を編纂し、実行するためシーケンサ76に送る。

図32は、ロボット・グリッパ選択を実行する処理工程の例を示すフローチャートである。この処理工程は、例えば、図29の計画作成ブロックP1で行われる。第1ステップS128において、グリッパのライブラリが読み込まれる。次に、ステップS130で、例えば、曲

げワークステーションが実行中の作業形態に不適切である寸法を有す場合、明ら

かに悪いグリッパとして排除される。ステップS132では、各グリッパの最小レポ数が予想される。その後、ステップS134において、最小の予想レポ数を有する1つ以上のグリッパが選択される。次に、ステップS136で、選択されたグリッパから、最大幅を有する全グリッパが選ばれる。残りのグリッパについては、工具中央点からグリッパの前先端までの長さが最小であるグリッパが選ばれる。選ばれたグリッパからは、最短のナックル高を有するグリッパが選ばれる。選ばれたグリッパ間で最大幅を有するグリッパがわずか1つの場合、次にそのグリッパが選ばれ、グリッパ長、或はグリッパのナックル高に関して更なる判定が必要ではなくなる。同様に、選択グリッパ間で数個のグリッパが最大幅を有するが、最小長を有するのはあずか1つの場合、次にそのグリッパが選ばれ、該グリッパのナックル高に関しての更なる判定が必要ではなくなる。ステップS136において、等しい最短ナックル高を有するグリッパが数個残っている場合、次にこれらのグリッパのうち1個が選ばれる。その後、ステップS138において、選ばれたグリッパが保持エキスパートに返却される。

図32に示すように、ステップS132では、各グリッパに必要な最小レポ数についての予測が行われなければならない。このような最小レポ数の予想は、図34

Aに示すような処理工程の例を利用し、サーチ前に実行可能である。図34Aに示す処理工程の目標は、所定のロボット・グリッパ、所定のパーツに対して、完全な3次元パーツを形成するために必要な最小レポ数を予測することである。利用される情報間では、予想実行のため、2次元、3次元パーツ（完全に形成された曲げパーツ）の両方に関する情報が必要である。第1工程では、該パーツの2次元表示の一部周辺に別個のポイントが生成される。このような別個のポイントが、該パーツ端から1セット離れ位置し、図33Aに示されている。図33Aに示す粒状度は、単にアルゴリズムの説明目的のためであり、必ずしも好適な粒状度を反映するものではない。別個ポイントの粒状度は、サーチ処理の速度を犠牲にすることなく、最適な正確性を得るために変更できる。

第1の別個ポイントに掴み位置が存在すると仮定すると、そのロボットの掴み

位置において可能性のある曲げ全てを含む曲げセットが、ステップ S 1 4 2 で識別される。この場合、該パーツはまだ平坦であり（2次元）、また L / U L にあると仮定される。これは、2次元パート 1 6 a 周辺（例、図 3 3 A 参照）にある各別個のポイントに対して繰り返され、各対応するロボット掴みポイントの全曲げセットが識別される。

その後、ステップ S 1 4 4 において、完全な 1 セットの曲げ（つまり、曲げシーケンスの全ての曲げ）を形成するものであって、ステップ S 1 4 2 で判定される曲げ

セットの結合最小数について判定が行われる。この結合最小数は、レポ R 2 の 2 次元最小数として識別される。その後、ステップ S 1 4 6 で、3次元パート 1 6 b（図 3 3 B 参照）周辺で別個のポイントが生成される。図 3 3 B の粒状度は、単に例として示すものであり、必ずしも現在のアルゴリズムの実行に好適な粒状度を表すものではない。該パートの外周辺でのポイント生成に適した粒状度は、アルゴリズムの所望正確度、速度に従い修正可能である。3次元パート 1 6 b 周辺に生成される各ポイントに対しては、対応する曲げセット（つまり、ロボットがその位置で該パートを掴んでいる間に実行される可能性ある曲げ全て）が識別され、それにより 3次元パート 1 6 b 周辺の別個のポイント全てに対して、曲げセットの全てが識別される。次に、ステップ S 1 5 0 に進み（図 3 4 B）、完全な 1 セットの曲げ（つまり、曲げシーケンスの曲げ全て）を得るのに要される連結最小数が判定され、これは、3次元レポの最小数を表す R 3 と呼ばれる。ステップ S 1 4 8 の実行で、3次元パート 1 6 b 上の各別個化された X 位置での掴みにおいて、可能性ある全てのセットの曲げが、特定グリッパを仮定し、また更に 3次元パートがレポ・ステーションにあると仮定し、形成される。ステップ S 1 5 2 では、R 2 及び R 3 値が、ロボット・グリッパ選択用アルゴリズム（例、図 3 2 参照）及び保持エキスパートに返却される。R 3 値は、平面パートである時の曲げ実行におけるワーク保

持に比べ、完全に曲げられている、つまり 3 次元である時の方がワークの保持が

困難であるため、予想レポの上界数を表す。R<sub>2</sub>値は、予想レポの下界数を表している。ロボット・グリッパのアルゴリズム、保持エキスパートの選択では、その算出、判定の実行においてそれぞれ低値R<sub>2</sub>、又は高値R<sub>3</sub>のどちらか、或は2つの組合せが利用される。例えば、ロボット・グリッパを選択するため(図3-2に示すステップS134)、低い方の数R<sub>2</sub>がまず考慮される。同等の最小予想レポ数R<sub>2</sub>を有するが、別の値R<sub>3</sub>を有するグリッパが1つ以上存在する場合、次に、最小のR<sub>3</sub>値を有するグリッパが選ばれる。これら選択されたグリッパが1以上であれば、次に、図3-2のフローチャートに示すように、ステップS136に従い更に評価される。

図3-5Aは、サーチ中に使用可能な最小レポ数を予想する処理工程を示す図である。サーチ前に使用されたレポ最小数を予想するアルゴリズムには、時間の節約のため、中間部分の評価は含まれていなかった。図3-5Aに示すアルゴリズムには、サーチ全体を通しての正確性向上のため、形成される中間パーツや、様々な曲げ全体を通じての該パーツ変化も考慮されている。

第1ステップS154において、幾何形状モデル化ライブラリでの適当な機能を呼出すことにより中間パーツが形成される。この中間パーツには、サーチの現在ノードまでのこれまでの曲げシーケンスにおける曲げ全

てが含まれる。その後、ステップS156で、図3-4A、3-4Bの処理工程において上述と同様の方法で、また図3-3A、3-3Bに示した同様の方法で、中間パーツ周辺に別個のポイントが生成される。別個のポイントが生成されると、ステップS158で、各掴み位置ポイントに対する曲げセットが判定される。換言すれば、各別個化されたポイントでロボット・グリッパが該パーツを掴んでいる間に実行される可能性のある曲げ全てに関して判定が行われる。ステップS160では、完全な1セットの曲げ(つまり、曲げシーケンスの曲げ全て)を形成するために必要な、ステップS158で生成された曲げセットの連結最小数に関して判定が行われる。この数は、R<sub>i</sub>と呼ばれる。R<sub>i</sub>が判定されると、次に、ステップS162において、別個のポイントが、3次元パーツ周辺で生成される。曲げセット(つまり、別個化されたポイントに沿って、各グリッパ位置で実行され

る可能性のある曲げ)が、次にステップS164(図35B参照)で識別される。次に、完全な1セットの曲げ(つまり、曲げシーケンスの曲げ全て)の形成に必要な曲げ連結最小数が判定される。連結最小数は、R3として示されている。次に、ステップS168において、低hコストR<sub>i</sub>(c)、高hコストR3(c)が割当てられ、プランナに返却される。コスト値R<sub>i</sub>(c), R3(c)は、レボ最小数(それぞれR<sub>i</sub>、R3)のレボ倍数の実行に要する時間概算である。ステップS168で示した低h、高

hコストを保持エキスパートに送る代わりに、サーチ中のレボ最小数を予想する処理工程は、自身でR<sub>i</sub>, R3を送ることが可能である。

図36Aは、図29のチャートに示す計画作成ブロックP2において保持エキスパート82により実行されるようなロボット掴み位置判定工程の例を示す図である。第1ステップS170において、中間パート(曲げシーケンス・プランナの状態・空間サーチにおける現在ノードに対応する曲げを有する)が構成される。その後、ステップS172で、掴みに適切でない端全てが拒否される。例えば、端がロボットのXY平面と平行な面でなければ、拒否される。更に、パートがダイ空間にロードされる時、ロボット・グリッパが届かない端も拒否される。また、ロボットが、曲げ操作前及び/又はその期間中に工具だけと衝突するため、ダイにあまり近すぎる端も拒否される。端上でのワークの掴みにより、ロボットがその作業空間の外に位置してしまう場合も、その端は拒否される。

各非拒否端については、ステップS172に続く工程が実行される(図36A)。ステップS174において、各非拒否端に対して、各頂点が板金座標から端座標に変換される。この点に関し、図37に、曲げ線1に隣接するワーク16の端に対応する端座標に変換される、曲げ線1, 2, 3, 4を有するワーク16上に、1セットの板金座標X<sub>e</sub>, Y<sub>e</sub>の例を定めるための例が示されている。

端座標に関して、ステップS176において、各端は、X軸に沿うポイントに別個に結ばれる。その後、ステップS178で、各別個の連結ポイントX<sub>e</sub>に対して、Y軸に沿って伸びる掴み線が生成される。Y軸に沿った掴み線を生成する

ため、幾つかの処理工程が実行される。例えば、図38に示すように、別個化ポイント $X_p$ に対して、掴み線306（破線）がY軸に沿って形成される。別個化された連結ポイント $X_p$ に対しては、端から一定距離を置いて設定される初期Y値 $Y_s$ が提案される。ここでは、グリッパは、端座標のX軸に対して通常に方位付けされると仮定されている。次に、ワークがローダ、レポ・ステーション、或いは1ステージにある間に、ポイント $Y_s$ がロボットの作業空間の外になってしまいかどうかに関し、判定が行われる。そうである場合、作業空間内であり、別個化された連結ポイント $X_p$ に対応し、端に対して通常方向の線に沿った新しいポイントが見つけられる。第1の有効 $Y_p$ については、 $Y_p$ がグリッパが届く最大範囲を越えているかどうかに関する判定が行われる。そである場合、値 $Y_p$ は拒否される。更に、位置 $Y_p$ にある時、グリッパがパーツと良いパッド当接可能かどうかの判定がなされる。パッド当接が良くない場合、位置 $Y_p$ は拒否される。ロボットによる該パーツの掴み可能な第1最大位置 $Y_f$ に線306が到達するまで、 $Y_p$ に対して新しい値が提案される。この距離は、該パーツでの穴、或は境界のためにパッドがこれ

以上良い当接ができないことにより定められる。例えば、最大位置 $Y_f$ は、図38に示すワーク16の第1穴307の直前で見つけられる。次に、次の有効、或は可能性のある $Y_p$ が、端に垂直に走る線に沿って見つけられ、新しい、或は開始位置 $Y_s'$ として定められる。次に、Y値 $Y_p$ が提案され、パッドによる良い当接が不可能と成る限度のため、或は該パーツがその位置で境界を有するため、追加の最終位置 $Y_f'$ が見つけられるまで検査される。従って、図38のワークに示すように、 $Y_f'$ は、第2の穴308直前に判定される。この処理工程は、線306端がグリッパが届く最大範囲、或はワーク16上反対側の境界に達するまで繰り返される。従って、 $Y_s''$ から $Y_f''$ に伸びる追加の線セグメントが生成される。

各別個化ポイント $X_p$ に対して掴み線が生成されると、後でステップS180（図36B参照）において、サーチでの現在の曲げに対して共通の掴み領域が定められ、サーチでの最後の選択レポ以来の先行曲げに対して掴み線が判定され、

現在の掴み線との交差として定められる。その交差が0に等しくない場合、0のkコストが割り当てられ、交差が0であれば、無限のkコストが割り当てられる。これは、曲げの実行に必要な掴み領域が先行の曲げと一致しないため、現在の曲げが実行不可能であることを意味している。その後、ステップS182で、定められた共通領域内で一時掴み位置が選択され

る。

掴み領域の交差が1つもなく、よってレポが必要であると判断される度に、掴み位置がその1セットの曲げに対してそれ以上変化しないことが知られているため、レポに先行する曲げに対して最終的な掴み位置が選択される。最終的掴み位置は、大きなレポ領域が生成されるよう選択される。

図39は、サーチ全体を通して判定され、例えば図36A, 36Bに示すような判定されたロボットの掴み位置処理工程で算出される共通の掴み領域の進化を示す図である。曲げ1の掴み領域は、まず図示の表示Aのように判定される。次に、曲げ1が既に実行され、対応するフランジが曲げられ(表示Bのあや目陰影線により示される)、曲げ2を実行するのに利用可能な掴み領域が図示の表示Bのように判定される。表示A, Bでの領域交差は、次に図示の表示Cのように判定される。次に、曲げ2が実行され(表示Dにあや目陰影線により示される)、曲げ3の実行に利用される有効掴み領域合計が図示の表示Dのように判定される。曲げ2から曲げ3に進むには、表示Eに示すように、交差が表示C, Dの領域より成る。これは、別の交差領域は1つもなく、曲げ3の実行前に(表示Fのあや目陰影線によりしめされる)レポが必要であることを意味している。次に、レポが実行され、曲げ3が実行される。曲げ4の実行前に、その曲げに対して可能性のあるロボット掴み領域が、図示の

表示Fのように判定される。曲げ4の実行のための正確な掴み位置を判定するため、表示Gに示すように、交差が表示D, Fの領域から成る。これは、曲げ3, 4両方を実行するために利用可能な、ロボット掴み位置の領域である。

既に実行された各曲げは、曲げられるフランジ上に配置されるあや目陰影線に

より示されている。掴み領域は、黒の実線で示されている。

図40は、それぞれ第1曲げの実行、第2の曲げの実行前に判定される掴み線領域を示す、ワーク16の第1、第2表示を示す図である。図40に示すように、掴み線領域309は、ワーク16のある大きな領域から構成される。下の図は、第1曲げの実行に利用できる上部の掴み線領域（つまり、掴み領域）と第2曲げの実行に利用される掴み線領域（図示せず）との交差を示している。従って、掴み線領域310は、掴み線領域309の小さなサブセットであり、第1、第2の曲げ両方を実行するための高み位置として利用可能である。

図41Aは、図29の計画作成ブロックP4に示すようなサーチ後のレポ計画作成中に実行されるレポ・グリッパの位置を判定する処理工程の実施例を示す図である。第1ステップS184において、中間パーツが構成される。次に、ステップS186で、適当でない端が拒否される。例えば、ロボットのX-Y平面と平行な面に対応しない端は拒否される。各非拒否端については、以

下のステップS186に続く工程が実行される。ステップS188において、中間パーツは、板金座標から端座標に変換される。その後、ステップS190で、対象端が、適当な粒状度を有するよう、X軸に沿って（図33A、33Bに示す方法と同様に）別個化される。次に、ステップS192で、第1ポイントY<sub>s</sub>（例、3mm）から別個のXポイント上に配置される線に沿ったグリッパの最大到達範囲まで、Y軸に沿ってポイントを生成することにより、Y軸に沿って掴み線が生成される。その線に沿った各線に対しては、レポ・グリッパが該パーツの何れか一部の邪魔となる場合、そのY位置は拒否される。更に、各Y位置に対して、レポ・グリッパが該パーツの何れか一部の邪魔となる場合、そのY位置は拒否される。また、レポ・グリッパと該パーツ間とで良いパッド当接がない場合、そのY位置は拒否される。従って、図38に示すように、線は、初期のY<sub>s</sub>位置から、レポ・グリッパが該パーツを掴める第1最大位置である最終位置Y<sub>f</sub>まで、それが境界部（例、パーツ内の穴）に達すまで引かれることになる。レポ・グリッパがその最大到達範囲（例、図38に示すY<sub>f'</sub>）の達するまで、図36A、36Bに示すようなロボットの掴み位置判定工程実行方法と同様な方法で、追加セ

ットの初期及び最終位置 $Y_s$ ,  $Y_f$ が形成される。

サーチが目標に達し、或は別のレポが必要になる時、最終レポ位置が割り当てる  
られる(先行及び現在のロボッ

ト・グリッパ位置を考慮して)。

図42は、サーチ前のレポ・グリッパ選択実行工程の一実施例を示す図である。これは実際には、実施されなくてもよい。第1ステップS198において、1ライブラリのグリッパが読み出され、第2ステップS200で保存レポ・グリッパが選択される。保存レポ・グリッパは、狭く、短く、パーツ(3次元、或は2次元形状)保持が可能なグリッパである。選択されたレポ・グリッパは、サーチ完了後最終的レポ・グリッパ選択が実行されるため、一時的なソルーションである。図43A, 43Bに、サーチ後のレポ・グリッパ選択が示されている。第1ステップS202において、曲げシーケンス全体を通しての様々な曲げに対して、全ての中間パーツ幾何形状が構成される。換言すれば、サーチから判断された曲げ順序に従い、曲げシーケンス内の各曲げに対応する適当な中間パーツ幾何形状が構築される。次に、ステップS204で、明らかに不適切(例、寸法が不十分なため、パーツ掴みが不可能)と思われるグリッパが排除される。次に、ステップS206で、レポ前の初期ロボット掴み位置と再位置決定されたロボットの掴み位置を含む2つのロボット掴み位置に基づき、有効なレポ・グリッパが識別される。これら各位置は、既にサーチ処理で判別されているものである。サーチ中に判定された前の判定一時レポ位置が、有効と識別されるレポ・グリッパから見て改善可能な場合、次にその位置が調整される。ステ

ップS208では、1個以上の有効レポ・グリッパが存在すれば(排除後)、最大幅を有するレポが選択される。最大幅を有するレポ・グリッパが1個以上ある場合、次に最小長のものが選ばれる。最小長のレポ・グリッパが1個以上あれば、最短ナックル高のものが選ばれる。同じ最小ナックル高を有するレポ・グリッパが幾つかあれば、そのどれを選んでも良い。ここでは、より大きなレポ・グリッパが選ばれ、レポ・グリッパの位置生成の成功を保障するようレポ・グリッ

バが選択されいる。レボ・グリッパの幅は、3次元パーツの掴み可能性領域の判定により判別される。レボ・グリッパのナックル高は、3次元パーツの最小フランジ高より高く設定される。

図30に示すように、計画作成プロックP12において、サーチ開始前に、大箱梱包アルゴリズムが実行される。大箱梱包アルゴリズムの実行中、ステージリストのそこから選ばれる各ステージを形成するため、どのようにしてセグメントが組み合わされるべきかを示す計画が作成される。図44に、大箱梱包アルゴリズムの例が示されている。第1ステップS210において、曲げ線長のリストが作成され、ワーク上に形成される曲げ線長に等しいステージ長を有するステージ長リストが作成される。更に、ステージ長リストでのステージを形成するために、選ばれる有効セグメント長のリストが作成、或は読み出される。次に、各別個の曲げ線長（例、各ステージ長）に対して、それぞれステップS212, S2

14が実行される。ステップS212では、特定ステージの形成に使用可能なセグメントの組合せを判定するために、A\*サーチが実行される。次に、ステップS214では、工具だけエキスパートに1ソルーション・セットの工具／ダイのセグメントが返却される。

A\*サーチの実行では、サーチの第1レベルで複数のノードを含み、第1レベルの各拡大／続きノードn<sub>o</sub>がそれぞれ有効セグメント長（つまり、工具パンチ、対応するダイ・セグメントの長）の1つに対応するよう、拡大される。例えば、有効セグメント長が、10mm, 15mm, 22mm, 40mm, 80mm, 160mmの場合、第1レベルのノードはこれらの各セグメント長に対応する。各続きノードに割り当てられるkコストは、現在ノードに対応するセグメントの長さであり、hコストは、セグメントによりまだ形成されていないステージの残りのパーツの長さに等価に設定される（つまり、サーチ処理の目標からの距離）。

図45, 46は、hコストが、サーチ実行の全体を通して、工具だけエキスパートにより割り当てられ、曲げシーケンス・プランナ72に送られるか（図30に示す回答R12で）、その算出方法を示す図である。工具だけhコストは、曲げシーケンス内の曲げ全てを実行するのに必要な予想ステージ総数の関数として

判定される。

より詳細には、 $n_j$ が $h_{TE}$ とすると、 $h$ 初期は、各ステージ設置に要するおよその時間（例、600秒）で乗

算され、曲げシーケンスの全ての曲げを実行するのに必要な予想ステージ総数に等価に設定される初期 $h$ コストであり、 $n_j$ が $k'_{TE}$ であれば、それはノード $n_0$ からノード $n_j$ までの合計工具だけ $k$ コストである。初期 $h$ コスト( $h_{initial}$ )を判定するためには（予想ステージ総数）、図45、46に示すように、サーチ前に処理が実行される（図30の計画作成ブロックP13）。図45の上部に、第1のワーク例が示されており、図45の下部に第2のワーク例が示されている。第1例のワークでは、計4回の曲げが実行され、その曲げの実行後、ワークは計5つの面を有することになる。第2例のワークでは、計4回の曲げが実行され、曲げ実行後、ワークは計5つの面を有することになる。曲げ実行に必要なステージ総数の予測を支援するため、ワークの2次元表示の各曲げ線を横断して曲げ「テスト・ストリップ」370が配置される。図45に示す各例では、そのような曲げ「テスト・ストリップ」は、暗くされた曲げ線を横断し配置される。

図46は、ワーク上で全ての曲げを実行するために必要な予想ステージ総数である初期工具だけ $h$ コスト( $h_{initial}$ )を判定するために実行される工程を示すフローチャートである。第1ステップS216において、最長曲げ線の長さと等しい第1ステージ長が、該セットの割当てステージ内に配置される。その後、各曲げに対してステップS218、それに続く工程を実行することに

より、各曲げ線の試験が行われる。ステップS218では、余分のステージが必要かどうかの判定が行われる。これは、図45の例に示されるような方法で、曲げ線を横断して狭い「テスト・ストリップ」を配置することにより行われる。曲げ線上へのテスト・ストリップの設置後の面総数からテスト・ストリップ前の面総数を差し引いた値に等しい差値が、3以下、又はそれに等しい場合、余分のステージは必要ではない。或は、余分のステージが必要であることもある。次のステップS220では、余分のステージが必要である時（つまり、予想される）、

判定される。

より詳細には、 $n_j$ が $h_{TE}$ とすると、 $h$ 初期は、各ステージ設置に要するおよその時間（例、600秒）で乗

算され、曲げシーケンスの全ての曲げを実行するのに必要な予想ステージ総数に等値に設定される初期 $h$ コストであり、 $n_j$ が $k'_{TE}$ であれば、それはノード $n_0$ からノード $n_j$ までの合計工具だけ $k$ コストである。初期 $h$ コスト( $h_{initial}$ )を判定するためには（予想ステージ総数）、図45、46に示すように、サーチ前に処理が実行される（図30の計画作成ブロックP13）。図45の上部に、第1のワーク例が示されており、図45の下部に第2のワーク例が示されている。第1例のワークでは、計4回の曲げが実行され、その曲げの実行後、ワークは計5つの面を有することになる。第2例のワークでは、計4回の曲げが実行され、曲げ実行後、ワークは計5つの面を有することになる。曲げ実行に必要なステージ総数の予測を支援するため、ワークの2次元表示の各曲げ線を横断して曲げ「テスト・ストリップ」370が配置される。図45に示す各例では、そのような曲げ「テスト・ストリップ」は、暗くされた曲げ線を横断し配置される。

図46は、ワーク上で全ての曲げを実行するために必要な予想ステージ総数である初期工具だけ $h$ コスト( $h_{initial}$ )を判定するために実行される工程を示すフローチャートである。第1ステップS216において、最長曲げ線の長さと等しい第1ステージ長が、該セットの割当てステージ内に配置される。その後、各曲げに対してステップS218、それに続く工程を実行することに

より、各曲げ線の試験が行われる。ステップS218では、余分のステージが必要かどうかの判定が行われる。これは、図45の例に示されるような方法で、曲げ線を横断して狭い「テスト・ストリップ」を配置することにより行われる。曲げ線上へのテスト・ストリップの設置後の面総数からテスト・ストリップ前の面総数を差し引いた値に等しい差値が、3以下、又はそれに等しい場合、余分のステージは必要ではない。或は、余分のステージが必要であることもある。次のステップS220では、余分のステージが必要である時（つまり、予想される）、

試験中の曲げを実行するのに使用可能な最長ステージ（ステージリストから）が割り当てられる、即ち、該セットの割当てステージに配置される。次に、ステップS 222で、新しく割り当てられたステージが該セットの割当てステージに既にあるステージと等しいかどうかの判定が行われる。新しく割り当てられたステージが、該セットの新しく割り当てられたステージに既にある場合、ステップS 226に示すように、その新しく割り当てられたステージは該セットに付加されない。一方、該セットの割当てステージにまだない場合、新しく割り当てられたステージは、ステップS 224において割当てステージセットに付け加えられる。その後、評価の必要がある追加の曲げ線があれば、処理工程は、ステップS 224, S 226のどちらかからステップS 218に戻る。全ての曲げ線評価が終了すると、処理工程はステッ

プS 228に進み、そこで初期工具だけhコストが、600と予想ステージ数（該セットの割当てステージに配置されたステージ総数）の積に設定される。

図46に示す処理工程を図45の例1に適用すると、曲げ線に沿ってテスト・ストリップ配置後の面は、8に等しくなり、曲げ線に沿ってテスト・ストリップ配置前の面数は5に等しくなる。従って、 $8 - 5 = 3$ となり、余分なステージは1つも必要ではないと予想される。図45に示す例2では、テスト・ストリップの曲げ線状への配置後の面数は1である。 $10 - 5 = 5$ となり、3以上である。従って、例2に対しては、余分のステージが予測される。

図47Aは、図30の工具プロファイル選択計画作成ブロックP11の一部を構成する工具選択工程概要を示す図である。この処理工程は、ステップS 471での曲げシーケンス・プランナから開始され、ステップS 472の工具だけエキスパート（工具だけモジュール）の操作に進む。曲げシーケンス・プランナからのFELによる「PLAN」命令を受け取ると、工具だけエキスパートは、それに答えてバーツ幾何形状モデル、曲げグラフ・データ、工具ライブラリを工具フィルタ・モジュールに送る。ステップS 473で、工具フィルタ・モジュールが、選択されたダイ、ダイ・ホルダ、ダイ・レール、実施可能なパンチのリストを判定する。そのような情報の判定において、工具フィルタ・モジュールは、曲げ

## グラ

フ・データに示されるように、ワーク上で実行される各曲げに対して幾つかの工程を実行する。工具フィルタ・モジュールは、該曲げに必要なデータを読み出し、トン数、V幅、角度、内側半径等の必要条件に基づき、ダイ、ダイ・ホルダを選択する。また、工具フィルタ・モジュールは、トン数、先端半径、先端角度等の制限に基づき、該パンチ・リストを排除する(実行可能なパンチのリストを形成するため)。

次に、処理工程はステップS473の工具だけモジュールに戻り、そこでプロファイル選択モジュールに、該パーツの幾何形状モデル、曲げグラフ・データ、実行可能なパンチ・リストが送られる。次に、ステップS474で、プロファイル選択モジュールが、曲げ装置により利用されるパンチ、パンチ・ホルダを選択する。プロファイル選択の実行において、各曲げに対して、プロファイル選択モジュールは、そのプロファイルが該パーツの幾何形状に適合するパンチのみを実行可能リストから選択する。適合プロファイルを有するパンチは、曲げ工程中に該パーツと衝突することがない。次に、プロファイル選択モジュールは、上記に応じ曲げパンチとパンチ・ホルダを選択する。適当な選択されたパンチ、パンチ・ホルダは、次に、ステップS475でその機能を継続する工具だけモジュールに返却される。

次に、工具フィルタ・モジュールにより実行されるアルゴリズムをより詳細に説明する。第1ステップにおいて

て、工具フィルタ・モジュールは、以下のデータを読み出す。即ち、各曲げの所望内側半径(TR)、パーツ材厚(T)、パーツ材引張り強さ、最小隣接フランジ長(対象の特定曲げの曲げ線に沿って走るより短いフランジの最小／好適最小長(高))、曲げ長及び曲げ角度、工具ライブラリ(工具ライブラリには、使用可能なパンチの反転プロファイルが含まれる)。

第2ステップでは、各曲げに対して、工具フィルタ・モジュールは、以下の工程を実行する。

- (a) FEASIBLE\_DIESリストが空に設定される。
- (b) ライブライ内のある有効ダイ・リストが走査され、各曲げに対して、そのV幅がある許容範囲内で所望のIRを生成可能であり、このV幅とT（曲げ力チャートとトン数の式を使い算出）に要するメータ当たりのトン数が、このダイのトン数容量内である場合、次にこのダイをFEASIBLE\_DIESに加える。

V幅とTに対するメータ当たりトン数の必要条件は、アマダ社のプレス・ブレーキ工具だてカタログに記載されているカチャートとトン数の式を使い算出可能である。更に、或は代わって、メータ当たりのトン数は、ここでその全内容を参照という形で記載する、「板金製造技術の新しいノウハウ」（アマダ板金作業研究協会著、Machinist/Publishing社発行、第1版、1981年5月15日）、で提供される曲げチャートとトン数式を

使い算出可能である。

(c) IR、曲げ角度、最小フランジ、トン数合計の必要条件を最も近く満足させるダイが、FEASIBLE\_DIESから選択される。最小フランジ長の制限がまだ満足されない時は、警告が発せられる。次に、選択されたダイに適当なダイ・ホルダ、ダイ・レールが、その選択ダイに対して選択される。

(d) ライブライ内のある有効パンチのリストが走査され、各パンチに対して、先端角度が選択ダイのV角度より以下であるが、それに近く、先端半径がIRより以下であるが、それに近く、この曲げに要するメータ当たりのトン数が、このパンチのトン数容量内である場合、このパンチは、該曲げ用のFEASIBLE\_PUNCHESのリストに加えられる。

次に、プロファイル選択モジュールにより実行される工程をより詳細に説明する。

プロファイル選択モジュールにより実行される初期ステップにおいて、各曲げに対して、該パーツの最終的（完成）3次元モデルが、評価中の曲げ完了後の曲げプレス内の位置にある適当な工具だてにそのまま関係づけられる。次に、各曲げに対して、以下の項目が実施される。

- (a) この曲げに対して、FEASIBLE\_PUNCHESリストが走査され

、各パンチに対して、該パンチの3次元幾何形状モデルが、この曲げの最後で該パーツ

の3次元幾何形状モデルと交差しない場合、このパンチは、該曲げのF E A S I B L E \_ P U N C Hとなる。3次元パーツモデルは十分な条件であるが、過度に制限があったり、将来のため修正も可能である。例えば、曲げシーケンス・プランナにより実行中のサーチ処理全体を通して、プロファイル選択が行われる時、シーケンスの各曲げでの該パーツの実際の形状を表す中間パーツモデルが使用できる。

(b) I R、曲げ角度、トン数の必要条件を密接に満足させるF E A S I B L E \_ P U N C H E Sの中からパンチが選択される。実行可能であれば、標準の「ロボット工具だけ」パンチが選択される。選択されたパンチは、上記プロファイル選択モジュールのステップ(a)での交差試験を満足させるため、そのプロファイルを反転させて（つまり、Y軸方向に、Z軸の周りを180°回転で反転される）使用すべきである。

工具だけフィルタ・モジュール、プロファイル選択モジュール算出の一方、或は両方は、曲げシーケンス・プランナによるサーチ実行の前、その期間、後のどちらかで実行可能である。

図47B、47Cは、曲げシーケンスの特定曲げを実行する時、ワークがロードされるステージに沿ってステージ、位置を選ぶステージ計画作成工程を示す図である。このような計画作成は、図30のブロックP14に対話図として示されている。第1ステップS230において、

該パーツの中間パーツモデルが形成される（該パーツは、曲げシーケンスの現在までの曲げを有する）。

ステップS232で、ステージリスト（有効ステージ）から最大の非評価ステージが選ばれる。次に、ステップS234で、工具だけエキスパート(TE)の衝突チェックにより、該パーツが、ステージに対して中央位置で工具だけステージにロードされ、サーチにおける現在曲げのシミュレーションが行われる。次に、ス

ステップS236で、曲げのシミュレーション中に衝突があったかどうか判定が行われる。衝突があった場合、処理工程はステップS238に進み、曲げ線の左端が工具だけステージの左側のちょうど左に配置され、該パーツが工具だけステージの左側にロードされる間に、TE衝突チェックにより、サーチにおける評価中の曲げのシミュレーションが行われる。次にステップS242で衝突が判別されると、処理工程はステップS246に進む。

一方、ステップS236で衝突が起きたと判定されない場合、ステージ上にワークがロードされる位置が、ステップS240で中央位置に設定され、処理工程は(コネクタBを介し)図47Cに示すステップS254に進む。

ステップS242で衝突が判別されなければ、ステージ左側上に位置するパーツの曲げのシミュレーション後、処理工程はステップS242からS244に進み、そこでステージ上にワークをロードさせる位置が、左位

置に設定される。次に、処理工程は、直接ステップS254(コネクタBを介し)に進む。

ステップS246では、該パーツが工具だけステージ(例、図48B参照)の右側に位置され、TE衝突チェックで曲げのシミュレーションが行われる。この場合、該パーツは、曲げ実行中に、曲げ線の右端が工具だけステージのちょうど右端に配置されるよう、工具だけステージに配置される。このシミュレーション中に衝突が起きたと判断されると、処理工程はステップS252に進む。ステップS248でこのシミュレーション中の衝突が1つも判別されないと、処理工程はステップS248からS250に進み、そこでステップS254に進む前に、ロード位置が右位置に設定される。ステップS248で衝突が起きたことが判別されると、処理工程はステップS252に進み、選ばれたステージ(ステップS242で選択)が無視され、処理工程は(コネクタCを介し)図47Bの上部に示すステップS232に進む。この時点で、ステップS232では、ステージリストから次の非評価最大ステージが選択される。一方、ステージ計画作成工程は、「不良」最大ステージから、評価中の特定曲げの曲げ線におよそ等しい長さを有するステージに直接移動するよう設計される。

ステップS254では、評価されたステージがソルーションステージであると考慮される。その後、ステップS258で、ステージがダイ・レールに沿って配列され、

ステップS256で、ステージ並置に必要な左一右遊隙が計算される。

前記各ステップS234, S238, S246における工具だけエキスパート(TE)衝突工程は、以下のように実行される。

工具だけエキスパート衝突チェックは、主に交差判定により構成される。サーチにおける評価中の曲げに対応する中間パーツが形成され、更にヌードルズ(NODLES)幾何形状モデルと互換性を有するBレポ(境界表示)に変換される。次に、適当なヌードルズ機能を利用し交差が実行される。まず、曲げ実行全体を通して形状が変化する該パーツの面数が監視される。曲げ実行全体を通しての複数のパーツ別個化形状のそれぞれに関して、曲げ実行中に、これら各形状が曲げワークステーションの適当な工具と交差される。次に、各形状について、結果的に生じる該パーツの面数が計数される。工具と交差し、結果的に生じる面数が、その形状の予想数以上であれば、衝突が起きたことになる。

上記ステップでは、工具だけエキスパート衝突チェックの処理工程を実行するためのアルゴリズムが定められる。代わって、サーチにおいて評価される特定曲げのワークの接合ボックス表示と工具が交差するかどうか判定するためには、接合ボックスにより曲げがモデル化される前、その後の中間パーツと、ヌードルズが提供する基本的固体交差が利用可能である。

次に、図47A, 47Bに示す処理工程のステップS256で計算されるよう、ダイ・レールに沿ってステージを並置するのに必要な左一右遊隙を判定する処理工程について説明する。評価中の特定曲げにおける該パーツの水平限度が、ワークがソルーション工具だけステージの側面端を越えて伸びる量に基づき算出され、ステージの各側面の最大水平限度が判定される。次に、現在のソルーションステージに隣接して配置されるステージが、隣接側面端の判定された最大水平限度の大きい方以上か、或は等しい隣接側面端間にギャップを有するよう適当に

一定間隔をおいて配置される。

ステージ配置では、図47B, 47Cに示すステージ計画作成工程のステップS258において、現在のソルーションステージ（現在評価中の曲げに対応する）が、サーチにおいてこれまで評価された最長のソルーションステージであれば、ダイ・レールの中央に配置される。他方、サーチにおいて現在ポイントで決定された最短のステージであれば、ダイ・レールに沿った第1、或は左位置に配置される。第2番目以下、全ての中央ステージは、それぞれダイ・レールの沿って第3位置から最後の位置まで位置決定される。ここでは、第3位置は中央位置のちょうど右であり、最後の位置は最も右側の位置である。

共直線曲げが操作シーケンスの実行で同時に行われる時、ステージレイアウトを作成するため、曲げシーケンス・プランナは追加要素を考慮する必要がある。共直線曲げの実行中の該パートとステージ間の遊隙の問題や、同時に手近の資源を利用することが最良であり、共直線曲げを収容するのに必要なステージのサイズ、配置、数等の問題が考慮されなければならない。保存すべきある特に重要な資源は、ステージ設定のため、ダイ・レールに沿った空間の使用である。ステージの数、サイズ、スペースは、ダイ・レール空間内の制限のため限度がある。

特定の共直線曲げ実行のためのステージ計画作成の時、共直線曲げがたった1つのステージで実行できるのか、或はその間に遊隙を形成するため、2個の間隔配置されたステージが必要であるのかについて決定される必要がある。従って、工具エキスパートは、共直線曲げが邪魔されるか（図20E）、邪魔されないのか（図20D、両方の曲げに1個のステージが使用される）を考慮する必要がある。

ステージ数を最小にし、必要なステージ間の間隔を最小にする一方、共直線曲げを収容可能な適当なステージレイアウトを作成するためには、A<sup>\*</sup>等のサーチ・アルゴリズムが使用できる。このようなサーチ・アルゴリズムが考慮すべき重要なコストは、ダイ・レールの合計長、あるステージ決定ソルーションが占めるダイ・レールに沿った空間量、曲げシーケンス（曲げシーケンス・プランナによ

り生成)の現在レベルに残っているダイ・レー

ルに沿った空間量等である。

図48A乃至48Cは、それぞれ曲げ実中の工具だけに関連してモデル化されるワークの中間表示を示す図である。図48Bにおいて、ワークは、ステージに沿って右側に位置している。各図48A, 48Bでは、曲げ線が工具だけステージより短くなっている。図48Cでは、ワークは工具だけステージに沿って中央に位置し、曲げ線が工具だけステージ長より少し長くなっている。

図48A～48Cに示す各グラフ表示では、ワークの中間表示と共に、工具パンチ、ダイを含む曲げプレスの様々な構成要素がモデル化されている。

図49は、図30に示す対話チャートの計画作成ブロックP14で実行される微動計画作成工程を示す図である。図49に示す処理工程の第1ステップS260において、パラメータが設定され、初期化工程が実行される。この点に関して、工具だけ、該パーツの3次元モデルが読み出され、様々な初期化機能が実行される。目標パラメータが、工具、パーツ幾何形状、所望遊隙に基づいて設定される。更に、曲げ線内の該パーツの一部が迅速に分析され、該パーツを囲む接合ボックスが計算される。

ステップS262では、該パーツの上部が工具だけパンチの底部端をクリア可能かどうか、該パーツのある特徴が工具幾何形状及びダイ開口が加える制限を満足するかどうか試験することにより、簡単なソルーション経

路が容易に手に入るかどうかに関して判定が行われる。そのような簡単なソルーション経路が容易に有効となる場合、処理工程はステップS264に進み、そこで微動経路が速やかに生成される。次に、処理工程はステップS270に進み、そこで曲げプレスから該パーツをアンロードするのに要する時間に等しい微動計画、微動コストと共に工具だけエキスパートに戻る。

ステップS262で簡単なソルーションが有効でないと判断されると、処理工程はステップS266に進み、そこで修正A\*サーチが実行される。サーチの実行において、複数の実行可能仮想構成空間ノードが生成され、それぞれコストを

有しOPENリストに載せられる。サーチの第1レベルには、OPENリストに付加された幾つかの生成知能方向実行可能VC（仮想構成）空間ノードが含まれる。OPENリストからノードが拡大される時、それは、親ノード付近の位置を表す幾つかの隣接ノードを含むよう拡大される。各拡大されたノードは、幾何形状交差試験により実行可能性が検査が行われる。その試験が肯定的（つまり、否定交差機能の使用による衝突が1つもない）であれば、拡大ノードは、そのコストと共に、OPENリストに付加される。そのコストは、拡大ノードから目標までのユークリッド距離に等しく設定されるhコストである。OPENリスト上のノードは、目標に達するまで、或はOPENリストが空となるまで、サーチ・ツリーの下方レベルまで継続して拡大される。

ステップS268では、目標に到達したかどうかについての判定が行われる。目標に達していたら、ステップS270で微動計画作成工程が、微動コスト、微動計画を有し工具だけエキスパートに戻る。目標に達していないかったら、処理工程はステップS272に進み、そこで微動コストが無限に設定され、工具だけエキスパートに送られる。

図50は、図31の対話チャートの計画作成ボックスP21に示す運動エキスパートのk, hコストを判定するための処理工程例を示す図である。第1ステップS274において、衝突なしに、該パーツを直前の曲げステージの位置からサーチにおける現在評価中の曲げに対応するステージ位置まで移動させるために要する算出ロット走行時間に等しくなるよう算出される。次に、ステップS276で、hコストは、先行曲げと現在評価中の曲げのkコスト走行平均値と、残りの曲げ数と曲げシーケンスの曲げ全てが完了する前に実行されなければならない残りの予想レポ数の2倍との合計との積に等しくなるよう算出される。

図31の対話チャートの計画作成ブロックP22に示すような、サーチ実行前の全体的運動スキーム、全体的運動経路の形成において、ワークを曲げシーケンスの様々なステージを通過させるため、1つの経路から別の経路に沿って工程を形成するよう、状態・空間サーチ・アルゴリズム、特にA<sup>\*</sup>アルゴリズムが実行される。曲

げシーケンスの特定操作に対して、初期開始位置から目標位置までの経路を生成する時、その経路が使用される最後の経路であると決定する前に、衝突チェックが行われる。この衝突チェックを実行するためには、ワーク、ロボット、曲げプレスがモデル化され、適当なヌードルズ機能を使用して交差試験が実行される。図51に、プレス・ブレーキ304、ワーク接合ボックス300、ロボット302の幾何形状モデルが示されている。総運動計画作成に関連しての衝突チェックの実行において、ワークは、バウンド・ボックス300によりモデル化される。図51では、ロボット302、モデル化されたパート300の位置が、曲げシーケンスの最後の曲げに使われるステージからローダ・アンローダによるアンロードの準備ができている位置に対応する図最右側の位置までの間に伸びる3つの位置で示されている。

#### 4. 幾何形状モデル化

計画作成システム71の各モジュールは、曲げワークステーションの様々な構成要素と移動され作成中のワーク間の物理的関係を分析するために、幾何形状モデル化機能を利用する。このような幾何形状モデル化機能には、代表となるストック、中間及び最終パート、運動計画作成中の交差チェック、ロボット掴み位置の選択支援等が含まれる。更に、サブ・プランナのパンチ幾何形状選択、工具配置、ローダ・アンローダ吸着器31の配置、検知信号の解釈を支援するため、必要な幾何形状情報が

提供される。幾何形状ベースの推論方法（例、オクトツリー表示、構成空間）の実行に必要な高速計算（例、接合ボックス、凸包、2次元断面）のため、単純化された幾何形状表示が提供される。物理的構成要素の実際の幾何形状データと共に、両方の符号（例、ラベル付き特徴）を含む物理的構成要素の幾何形状データ・ベースが提供される。ここでは特に述べてはいないが、他の幾何形状モデル化機能も提供される。

本発明の特定実施例では、上記モデル化機能の多くを実行するため、ヌードルズが利用される。幾何形状モデル化機能の実施にヌードルズを使用する理由は幾つか挙げられる。ヌードルズには、大きな幾何形状ルーチン・パッケージが含ま

げシーケンスの特定操作に対して、初期開始位置から目標位置までの経路を生成する時、その経路が使用される最後の経路であると決定する前に、衝突チェックが行われる。この衝突チェックを実行するためには、ワーク、ロボット、曲げプレスがモデル化され、適当なヌードルズ機能を使用して交差試験が実行される。図51に、プレス・ブレーキ304、ワーク接合ボックス300、ロボット302の幾何形状モデルが示されている。総運動計画作成に関連しての衝突チェックの実行において、ワークは、バウンド・ボックス300によりモデル化される。図51では、ロボット302、モデル化されたパーツ300の位置が、曲げシーケンスの最後の曲げに使われるステージからローダ・アンローダによるアンロードの準備ができている位置に対応する図最右側の位置までの間に伸びる3つの位置で示されている。

#### 4. 幾何形状モデル化

計画作成システム71の各モジュールは、曲げワークステーションの様々な構成要素と移動され作成中のワーク間の物理的関係を分析するために、幾何形状モデル化機能を利用する。このような幾何形状モデル化機能には、代表となるストック、中間及び最終パーツ、運動計画作成中の交差チェック、ロボット掴み位置の選択支援等が含まれる。更に、サブ・プランナのパンチ幾何形状選択、工具配置、ローダ・アンローダ吸着器31の配置、検知信号の解釈を支援するため、必要な幾何形状情報が

提供される。幾何形状ベースの推論方法（例、オクトツリー表示、構成空間）の実行に必要な高速計算（例、接合ボックス、凸包、2次元断面）のため、単純化された幾何形状表示が提供される。物理的構成要素の実際の幾何形状データと共に、両方の符号（例、ラベル付き特徴）を含む物理的構成要素の幾何形状データ・ベースが提供される。ここでは特に述べてはいないが、他の幾何形状モデル化機能も提供される。

本発明の特定実施例では、上記モデル化機能の多くを実行するため、ヌードルズが利用される。幾何形状モデル化機能の実施にヌードルズを使用する理由は幾つか挙げられる。ヌードルズには、大きな幾何形状ルーチン・パッケージが含まれる。

れ、C/C++/C++ソース・コードにアクセス可能である。更に、ヌードルズは、同じルーチンで非多様幾何形状（例、0次元、1次元、2次元、3次元等）処理が可能であり、幾何形状ライブラリの構築、パーツ特徴に関する様々な形態の情報を保存するために使用できる階層構造を有する。

曲げ工程の設計、計画作成、実行ステージの1個以上を通して、各板金ワークの上部、下部両面（つまり、厚さ）のモデル化には、モデル化機構（図示せず）が提供される。システムのある態様において、ワークでのそのような完全な厚さ表示は有益である。例えば、保持エキスパート82は、ワークの上部、下部両面を知ることによる追加知識から利益を得、運動エキスパート84は、

曲げ操作前後でワークがダイ、パンチ工具に近い時、そのワークの微動をより早く計画でき、制御できるようになる。

図10に示すように、上部・下部面モデル化機構（図示せず）は、図右側に示す平坦表示114と厚さを有する表示116間での厚さ変換を実行する。基本的に、厚さを有する表示116は、互いに並置された2つの平坦表示により構成される。

図11では、同図左側の平坦表示114としてモデル化され、厚さを有する表示（つまり、固体モデル）に変換された重複フランジ118が示されている。固体モデル116は、下部面表示122と共に、上部面表示120に等しく示されている。上部面表示120は実線で示され、下部面表示122は点線で示されている。

図12では、板金ワーク16の設計表示をモデル化するために利用されるツリー構造の例が示されている。第1レベルでは、ワーク16に対応して、複数の形状126が示される。各形状126に対して、幾つかの面128が定められ、各面に対して、幾つかの端130が定められる。各端に対して、複数の頂点132が示される。各頂点については、3次元（つまり、最後のパーツ）表示136、中間表示138と共に、2次元（つまり、ストックパーツ）表示134が維持される。

矢印140のように厚さ変換は実行され、結果的にそれぞれ前記図12の線と

同様のツリー構造を有する上

部、下部面表示 142, 144 が生成される。

図 17 A, 17 B, 18 A, 18 B には、システムの幾何形状モデル化の実行を支援するため、数種の形態の幾何形状ライブラリが示されている。

ヌードルズのモデル化システム、一般的な幾何形状モデル化に関してより詳しい情報は、ヌードルズ・ライブラリ参考マニュアル(E.Levant.Gursoz.EDRC.カーネギー・メロン大学、ピッツバーグ州ペンシルバニア)、「幾何形状モデリング」(Michael.E.Mortenson)より得ることができる。これら各文書の全内容は、ここで参照という形で記載する。

#### 5. 質問ベースのモジュール通信言語 (F E L)

計画作成システムの各モジュール間のインターフェースを形式化するため、F E L と呼ばれる質問ベース言語が使用される。F E L は元々デービッド・ブーンにより 1988 年に作成されたものであり、以来さらに洗練されて来ている。一般的な F E L のより詳細な情報は、「特徴交換言語プログラマ・ガイド」(デービッド・アラン・ブーン、デュアン・T・ウイリアムズ、1994年1月14日)、「次世代コントローラにおける特徴交換言語」(デービッド・アラン・ブーン、デュアン・T・ウイリアムズ、CMU-RI-TR-90-19), 「操作特徴交換言語」(デービッド・アラン・ブーン、ジェフ・バード、ポール・エリオン、デュアン・T・ウイリアムズ、CMU-RI-TR-90-06)を含む数種のユーザ・ガイド(カーネギー・メロ

ン大学、ロボット工学研究所)で得ることができる。これら F E L 文書の全内容は、ここで参照という形で記載する。

図 19 には、表現 146 として示される曲げシーケンス・プランナ 72 から表現 148 として示される運動エキスパート 84 に送付中の F E L 計画作成メッセージ 145 の例が示されている。F E L 計画作成メッセージ 145 は、曲げシーケンス・プランナ 72 から運動エキスパート 84 に送られる質問命令から構成され、これにより該質問を満足できるよう、運動エキスパート 84 に予備情報が提

供される。主動詞・命令「g e t」152の直後メッセージ145の初期パラメータ設定部150が提供され、「形態メッセージ」(“TYPE MESSAGE”)147、「計画作成から」(“FROM PLANNING”)146、「移動へ」(“TO MOVING”)148、「状態要求」(“STATE REQUEST”)149等の表現が含まれる。設定部150の直後に「形態コスト」(“TYPE COST”)の表現が提供され、これは、プランナに特定操作のコストを述べるよう、運動エキスパートに要求中であるとこを意味する。次の表現「曲げ・・・」156は、曲げ番号6を終了後、曲げ番号3を実行することはどのくらい高価か質問をする。数字7, 1は、それぞれ曲げ6, 3に関して、曲げワークステーションのダイ空間に挿入されるワークの面を表す。

次の表現「平均コスト2.321」

(“AVERAGE COST2.321”)158は、これは、運動エキスパートにより前に割り当てられたコスト値に基づき前に行われた曲げに対する、曲げ当たりの運動平均コスト(kコスト)であることを運動エキスパートに知らせる。この場合、平均コストは、前に実行された曲げ当たり2.321秒である。次表現「曲げ前のフランジ」(“FLANGE BEFORE BEND11.”)160は、運動エキスパートが遊隙判定を行うのに使用される最も高い対象フランジ(図18Aの11ミリメートル)の高さ(ミリメートル)を表す。表現「曲げ後のフランジ」(“FLANGE AFTER BEND17.5”)162も同様に、曲げ実行後に存在する最も高い対象フランジ(図18の17.5ミリメートル)の高さを表す。次ぎの表現「ロボットL0C」(“ROBOT LOC(11 33 34 20.13.75 0.)”)164は、ロボットの位置(前の曲げが完了した時に残された位置)を示すことにより、運動エキスパートにバーツの位置を知らせる。計画作成メッセージ145内の最後の表現は「曲げマップ」(BENDMAP((6 1 257. -257. 350.7 320.)(3 1 70. 70. 225. 320.)))166であり、これは、先行曲げ及び現在提案されている曲げの各工具ステージ、各曲げステージに対してのワークの位置を示す。第1値168は、曲げ番号6に位置情報が与えられることを表し、第2値170は、曲げ番号6が実行されたステージ(この場合、ステージ番号1)を表す。第1、第2値168, 170の右側には、数種の

座標が付加されている。第1座標値“257”は、ステージ左端に対してのパーティ左端の位置を表し、第2座標値“-257”は、ステージに対しての該パーティ左端の位置を表す。値“350.7”は、ステージに対する該パーティ右端の位置を表す。最後の値“320.”は、ダイ・レールの左端に対するダイ・レールに沿ってのステージ位置を表す。

一般に、計画作成メッセージ145は、運動エキスパートが、ワークを初期位置から（前の曲げ実行後残された位置）提案されている次の曲げ準備ができる位置に移動させるサブ計画を作成するのに必要な全ての情報を送る。

プランナとその様々なサブ・プランナ（エキスパート）間における質問ベースのインターフェース構造の重要な特徴は、質問をエキスパートに送る時、プランナが、その質問に答えるために必要な全ての背景情報をエキスパートに知らせることである。従って、エキスパートは情報を保存する必要がなく、単に曲げシーケンス・プランナに答えるだけで良く、曲げシーケンス・プランナが保存するよう全ての関連情報を返却する。

#### (a) F E L ベースのプロセス・プランナの構成

図5に示すプロセス・プランナ71の構成では、曲げシーケンス・プランナ72、エキスパート80, 82, 84を含む各モジュールに、その開始構成ファイルを読み出す命令が送られる。そのような命令の例を以下に示す。

```
(読み出し((形態ファイル(名 "config.s2.fel"))
((形態メッセージ)(計画作成から)(工具だてへ)(名 "config")))
[(read((type file(name "config.s2.fel"))))
 ((type message)(from planning)(to tooling)(name "config"))])
```

各モジュールが開始構成ファイルを読み出すと、システムは、曲げシーケンス・プランナ72が何れの所定エキスパート数でも使用できるよう、例えば以下のような命令を使い設定される。

```
(設定((形態エキスパート)(エキスパート(工具だて掴み移動)))
 [set((type experts)(experts(tooling grasping moving))))]
```

曲げシーケンス・プランナ72に使用されるエキスパートが指定されると、次に、パーツ設計が適宜CADシステムから各モジュールに読み込まれ、曲げシーケンス・プランナ72が計画作成工程を開始する。

**(b) F E L 命令**

以下に示す表は、曲げシーケンス・プランナ72が、エキスパートを含め、システムの他モジュールとの対話に参加するため指定する数種の命令を記載するリストである。

F E L モジュール対話命令	
サーチ命令	
終了化(Finalize)	- 各モジュールから最終的計画情報収集
得る(get)	- 曲げに対するコスト情報(及び他データ)を得る
計画作成(Plan)	- パーツ計画作成のモジュールを初期化
ユーザ命令	
退避(Quit)	- クリーンアップとモジュールからの退出
読む(Read)	- 計画作成ファイルの読み出し
設定(Set)	- 様々なモジュール・オプションの設定
表示>Show)	- ユーザに様々なモジュール・データを表示

以下に示す表は、シーケンサ77により実行され、曲げシーケンス・プランナ72により指定される数種の命令を記載するリストである。

F E L シーケンサ命令	
メッセージ印刷 (PrintMessages)	- B M 1 0 0 オペレータの設定用 メッセージの印刷
プログラム (Programs)	- N C 9 R プレス・コントローラ及びバックゲージ・コントローラへの プログラムのダウンロード
セットアップ (Setup)	- プレス及びロボット状態の初期化
得る (Get)	- 処理工程の様々なステップからのパーツ獲得
置く (Put)	- 処理工程の様々なステップ内へのパーツを導入
移動 (Move)	- 一連のポイントを通してのロボットの移動
曲げ (Bend)	- 曲げシーケンス (バックゲージと曲げ) の初期化

“read” 命令は、製造設計を表し、計画作成に必要なあるファイルを読み出し、その設計に従い自身を構成するようモジュールに指示するのに使用される。“set” 命令を使い、情報の表示方法、他モジュールとのインターフェース方法等、様々なモジュール機能が設定される。“show” ユーザ命令は、例えば、提案の曲げシーケンス内における様々なコスト、或は種々の曲げを表すA\*アルゴリズムの様々なノード等、様々なモジュール・データをユーザに示すのに利用される。

#### 6. パーツ設計とモデル化

図5 Aに示す実施例では、C A Dシステム74が、計画作成システム71のパーツ設計及びパーツモデル化に関連する数種の機能を実行する。C A Dシステム

74により、ユーザは、グラフィック・インターフェース上で単純化された原始構成要素（2次元、或は3次元形態のどちらか）に対して作業を行うことにより、所定ワークの設計が可能となる。ここでの原始構成要素は、ワークを設計するためにユーザが入力するある所望の寸法を有する。次に、ユーザは、CADシステム74とのユーザ・インターフェースを利用し、原始構成要素を接続し、更にその接続された原始構成要素から穴、スロット等のパーツを排除する。次に、CADシステム74が、ワークの数種のラベル化幾何形状特徴を含む特徴ラベル化機能を実行する。このような特徴は、板金曲げでは特に重要である。また、CADシステム74は、様々な曲げ関連情報をワークの幾何形状設計と関連付けする曲げグラフも生成する。それにより、CADシステム74は、幾何形状、形態、曲げ関連情報（ラベル付き特徴と曲げグラフのリストを含む）を含有する出力ファイルを形成する。次に、この情報は全て、計画作成システム71の他モジュールとの通信ベースを形成する出力形状ファイル内の配置される。この点に関して、曲げシーケンス・プランナ72と共に、設計システムの出力形状ファイル

と種々のエキスパート・モジュール80, 82, 84(85)間にインターフェースを形成するため、パーツモデルが提供される。

パーツモデルは、計画作成システム71の各モジュールにより幾何形状モデル化の目的で使用可能に作成されたパーツデータ構造を形成するために、出力形状ファイル内に提供されるデータ上で様々な変換を実行するものとして提供される。パーツモデルは、計画作成システム71内の各モジュールにアクセス可能なライブラリーの形態で実施され、様々なモジュールがそこに提供される情報を利用して特定時点での何れの特定目的をも果たせるよう、出力形状ファイル内に提供される作成されたパーツ・データ構造及び／又は非作成データ構造において情報を操作するために利用される。

図13Aは、図示実施例のCADシステム74の機能を実行するために提供される設計システム311の機能ブロック図である。設計システム311は、図13Aに示すように、機能形態で実施される数種の設計関連機能を実行する。各機能は、設計システムにより構成される機能ライブラリに提供される特定機能によ

り実施される。図13Aに示す機能には、ユーザ・インターフェース312、ファイル入出力314、表示316、シミュレーション318、形状定義320、穴定義322、編集324、特徴ラベル付け328が含まれる。これら各機能は、設計システム制御モジュール326により制御

される。数種の特徴ラベル付け機能を実行するため、曲げグラフ・モジュール330、曲げ控除モジュール332がそれぞれ特徴ラベル付けモジュール328に接続される。

図13Aでは、各機能が機能モジュールの形態で示されている。しかし、図示のように、これら各機能を所定の方法で別個のモジュールに分離する必要はない。代わって、これら各機能が設計システムの他機能と何れの所定インターフェースを有することなく実行可能となるよう、全体的プログラム、或はハードウェア・システムが提供される。例えば、ここで開示する設計システムにより提供される一般的利点の幾つかを排除することなく、全体的設計システムの各機能を実施するため、コンピュータのプロセッサ内に1つの完全なルーチンが提供される。

ファイル入出力314は、読み出し、書込み、印刷、モジュール間データ交換の実行等の機能を実行する。表示機能モジュール316は、ズーム・イン、ズーム・アウト、グラフィック・インターフェース上のパーツ表示中のパン等の機能を実行する。形状モジュール320は、ユーザが、共に組み合わされて特定ワーク設計を形成する矩形形状、角度、Z、ポックス、ハット等を含む特定形状を指定できるよう提供される。穴モジュール322は、ユーザが、更に形状モジュール320が提供するのと同じ方法でワークを設計できるよう、切抜き、穴、

スロット、切欠き等、ワークに影響される様々な形態の空洞を指定するために提供される。編集モジュール324は、ユーザが、充填機能、溝掘り機能、ワーク材の形態及びノ又は厚さ変更等、様々な編集を行えるようにするため提供される。シミュレーション・モジュール318は、ユーザが、ワーク上で様々な曲げの曲げ、非折曲げをシミュレーションすることにより、設計システムにより利用されるグラフィック・インターフェース上でそのような曲げの視覚的表示を得られる

よう提供される。

特徴ラベル付けモジュール328は、板金曲げに関する特徴ラベルを自動的に割当て、従ってここで図示する計画作成システム71がそのような特徴ラベルを使っての曲げシーケンス計画の形成或は生成に有益となるよう提供される。特徴ラベル付けモジュール328は、コーナー、セットバック、形態特徴(例、くぼみ、ルーバ), 穴、大きな半径曲げ等の特徴関連情報を生成する。更に、特徴ラベル付けモジュール328は、所望の3次元完成ワークを形成するために、2次元ワーク上で実行される様々な曲げに地理的、形態的情報を関連付けするある方法で構成される情報を含む曲げグラフを形成するよう曲げグラフ・モジュール330を方向付けするように設計される。更に、特徴ラベル付けモジュール328は、曲げ控除モジュール332による曲げ控除計算を方向付けするよう設計される。次に、結果として生じる曲げ控除情報は、曲げグラフ・モジュール330により

提供される曲げグラフ・リスト内に配置される。

ここで図示する計画作成システム71に提供される様々なモジュールは、パート(つまり、ワーク)がモデル化されることを要求する様々な幾何形状モデル化機能を実行する。従って、パートモデルが必要となり、設計システムの出力形状ファイルと計画作成システム71内の様々なモジュール間のインターフェースのために、様々なモジュールがアクセス可能な機能ライブラリーの形態で提供される。図13Bでは、この機能を果たすパートモデル化システム333が示されている。パートモデル333には、次の2つの主要機能モジュールが含まれている。つまり、B-REP再配置モジュール336と中間形状変換モジュール342である。B-REP再配置モジュール336は、非作成パートデータ構造334を、作成された3次元パートデータ構造(B-REP内)338か、作成された2次元パートデータ構造(B-REP内)340のどちらか一方、或は両方に変換する。中間形状変換モジュール342は、作成された2次元パートデータ構造(B-REP内)344を作成された中間パートデータ構造(B-REP内)344に変換する。

非作成パートデータ構造34(図13Aに示す設計システム311により提供

される)は、曲げ控除を考慮に入れないものであってCADシステム74により生成される出力形状ファイルの一部を形成する幾何形状・形態データ構造を定める。作成された3次元パーツデータ

構造338、作成された2次元パーツデータ構造340等、作成されたパーツデータ構造には、曲げ控除を考慮に入るパーツ修正表示が含まれる。上記作成されたパーツデータ構造は、更に境界表示(B-REP)モデルの形態になるよう変換される。

CADシステムにより生成される形状出力ファイルに存在するデータ構造は、無効終了の連結リスト内に複数の形状を伴い、パーツ情報を含む形状ヘッダを含むよう設計される。各形状では、パーツの3次元、2次元両方の表示に対して形態及び幾何形状情報が提供される。形状構造には、形状タイプ、形状ID、面リスト、端リスト、3次元頂点リスト、2次元頂点リストを含む情報のリストが含まれる。各面は、面ID、面頂点数、面頂点の頂点リスト、面の通常ベクトルを含む情報のリストを含む自身の構造を有する。各端に対しては、端ID、端形態、曲げ線形態、その特定端の頂点インデックス数等の情報を含む構造が提供される。各頂点に対しては、頂点ID、頂点座標、2次元座標、3次元座標、中間座標を含む情報が提供される。データ構造、図示の一般的CADシステムの詳細に関する情報は、1992年5月発行のMEレポート「板金パーツの並行設計システム」(チェン・ファ・ワング著、カーネギー・メロン大学、機械工学部、ペンシルバニア州ピッツバーグ)から得ることができる。その全内容は、ここで参照という形で記載されている。

上記のように、CADシステムは、設計中に、パーツの3次元、2次元両方の同時「並行」表示を採用することが望ましく、そのような表示は、パーツが計画作成システム71に使用されるよう一旦最終設計が行われると維持される。図13C、13Dに、そのような3次元、2次元表示の同時並行維持に関連する利点の1つが示されている。同時並行設計システムを有する利点の1つは、このようなシステムにより設計工程中に起きる曖昧性が解決されることである。例として

、2次元パーツ346aが図12Cに、また3次元パーツ346bが図12Dに示されている。パーツ3次元表示346bを見ただけでは、内部タブ347が長すぎ、単一可鍛性板金からの形成はたぶん不可能であることが分からぬ。これは、該パーツの内部端348と交差するときの内部タブ347の重複を示す該パーツの2次元表示346aを見てのみ明らかとなるものである。従って、図13C, 13Dに示すように、グラフィック形態で2次元、3次元両方の同時表示を有することにより、設計者は、容易に曖昧性を解決でき、また設計中に2次元、或は3次元表示のどちらか一方を見ることにより検出される曖昧性に起因するエラーを認識できる。上記のような同時設計アプローチに関連する別の利点は、特定形態の修正についての他の表示に代わり、例えば該パーツに内部タブを加え、ある1つの表示（例、2次元表示）に修正を加えることがより容易になることがある。

図14A～14Eは、ある所望パーツを設計する処理工程を通してその表示が変化する設計システムのグラフィカル・ユーザ・インターフェース348を示す図である。例えば、図14Aでは、グラフィカル・ユーザ・インターフェース348には、キー・パッド350, パラメータ・ウインドウ352, 原始形状3次元ウインドウ354, 原始形状2次元ウインドウ356, モデル3次元ウインドウ358, モデル2次元ウインドウ360が含まれる。図14Aは、図14Eに示すような所望ワークを生成するために、グラフィカル・インターフェース348上に提供される第1導入原始形状を示す。第1原始形状は、ボックスである。ボックスのパラメータは、キー・パッド350を使用し指定され、 $100 \times 100$ のベース（パラメータp[1].p[2]）と20に等しい高さ（パラメータp[3]）を有するパラメータ・ウインドウ352内で示される。3次元原始形状は、原始形状3次元ウインドウ354内で示され、2次元原始形状は、原始形状2次元ウインドウ356内で示される。これは、該パーツ設計に提供される第1の原始形状であるため、モデル3次元ウインドウ358は原始形状3次元ウインドウ354と同一であり、モデル2次元ウインドウ360は原始形状2次元ウインドウ356と同一である。

図14Bでは、追加の長さ100(パラメータ[1])、幅15(パラメータ[2])を有する矩形である次の形状が示されている。該パーツ設計で付加される次の原始形

状は、図14Bの矩形と同じパラメータを有する別の矩形である。次の原始形状は、図14C、14D、14Eに示すように、ワークに追加される。

ワークに追加される各原始形状に対しては、曲げ線を示すため点線が利用される。パラメータP[1]は追加される原始形状のX寸法に、パラメータP[2]はY寸法、パラメータP[3]はZ寸法にそれぞれ対応する。

図15A～15Cでは、曲げ控除と、ワークフランジの3次元、2次元寸法にその曲げ控除が関連する様子が示されている。ワーク362が厚さtを有し、ワーク362のフランジが長さa、bを有することが望ましい時、該パーツの平坦2次元表示が、適当な曲げ線に沿って曲げられる時、材料の厚さt、材料形態、曲げ線の内半径(板金内面まで)を考慮に入れ、実際に適当な寸法a、bを形成するよう算出が行われる必要がある。ワーク362の非作成表示363から開始し、ワーク362の作成された2次元表示364が、全体寸法a+bから適当な曲げ控除(BD)値を引き算することにより算出される。このような算出実行の方法は、従来からある方法である。従って、ここでは、曲げ控除(BD)値の判定に使われる式に関しての詳細は記載されていない。

図16には、曲げグラフのグラフィック表示が示されている。ここでグラフィック表示は、図14A～14Eに示す工程で設計されたワークの2次元表示である。設計されたワークの曲げ線は、曲げ線B1、B2、B

3、…、B8としてラベル付けされており、各ラベルは曲げ線インデックスから構成されている。次に、各曲げ線インデックスは、初期化値より構成される曲げシーケンス番号を割り当てられる。曲げシーケンス番号は、曲げ線が曲げられる順序を示し、図示の計画作成システム71の曲げシーケンス・プランナにより生成される計画(つまり、曲げシーケンス)に従い、各曲げ線に割り当てられる。更に、曲げ線インデックスに対して、各曲げ線は曲げ角度を割り当てられる。

例えば、図16に示す曲げグラフでは、曲げB2に対して角度-90.0°、B1に対して曲げ角度90.0°が与えられる。曲げグラフは、更に一旦曲げが実行されるとワーク上に形成される様々な面F1～F9表示により構成される。

それぞれ図13A～13Eに示す設計パーツの幾何形状／形態データ構造、曲げグラフ・リストを含むリストが添付A、Bに記載されている。上記カーネギー・メロン大学、機械工学部のレポートに加え、「パーツ多重表示による同時製品・プロセス設計」(チエング・ファ・ワング、ロバード・H・スターグス著、IEE RE(1993年)1050-4729-93)でもまたその情報が得られ、その全内容はここで参考という形で記載される。

#### 7. シーケンス化と制御

図52は、様々なソフトウェア・モジュールとその主要インタフェース構成要素を示すブロック図である。モジュールには、プランナ72、シーケンサ・タスク76、

ロボット・タスク92、プレス及びL/ULタスク94、バックゲージ・タスク96、速度制御タスク102、衝突検出タスク100等が含まれる。プランナ72には、出力キュー72a、入力キュー72b等のインタフェース構成要素が含まれる。シーケンサ・タスク76には、入力キュー76a、出力キュー76b、タスク応答キュー76c、数種のタスク種別メンバ機能76dに対応する部が含まれる。プランナ72の出力キュー72aは、シーケンサ・タスク76の入力キュー76aに接続される。シーケンサ76の出力キュー76bは、プランナ72の入力キュー72bに接続される。

ロボット・タスク92には、入力キュー92a、出力キュー92b、ロボット・タスク機能92cに対応する部が含まれる。プレス及びL/ULタスク94には、入力キュー94a、出力キュー94b、プレス・タスク機能及びL/ULタスク機能94cに対応する部分が含まれる。バックゲージ・タスク96には、入力キュー96a、出力キュー96b、バックゲージ・タスク機能96cに対応する部分が含まれる。各入力キュー92a、94a、96aは、シーケンサ・タスク76の入力キュー76aに接続される。各出力キュー92b、94b、96b

は、シーケンサ・タスク76のタスク応答キュー76cに接続される。

図52に示すコントローラ・ソフトウェア構造は、プランナ72、シーケンサ・タスク76、制御システム7

5間の内部接続、各タスクの構造、それらの接続方法の例のみを表すものである。図52に示す方法で実施せず、同じ基本的制御機能を実行する様々な制御システムの提供は、ここで開示する発明の範囲内である。

図53は、図52に示すシーケンサ・タスク76により実行される処理工程のフロー例を示す図である。シーケンサが開始されると、第1ステップS280において、シーケンサは、入力キュー76aでFELリストから新しいメッセージを得る。ステップS282で、シーケンサはFEL文を分析し、ステップS284で、シーケンサは関連する各タスクにデータ・オブジェクトを作成する。ステップS286では、適当なデータ・オブジェクトがそれらの適当なタスク・キュー上に載置される(例、ロボット・タスク92、プレス及びL/ULタスク94、バックゲージ・タスク96の1つ以上に)。ステップS288で、シーケンサは、関連する全てのタスク状態のチェックを行う。その後、ステップS290で、全タスクが終了したかどうかの判定が行われる。終了していなければ、シーケンサはステップS292に進む。全てのタスクが終了していれば、シーケンサはステップS290からステップS294に進み、そこで適当なクリーンアップ操作が実行される(例、データ・オブジェクトの破壊とフラグのリセット)。

ステップS290で全タスクが終了していないことが判定されると、次のステップS292で、時間切れが

越えられたかどうかの判定が行われる。越えていなければ、処理工程はステップS288に戻る。越えている場合、シーケンサはステップS293に進み、そこで適当なエラー回復処理が実行される。ステップS294でのクリーンアップ操作の実行後、ステップS296で、タスク退出信号が設定されたかどうかの判定が行われる。タスク退出信号が設定されていれば、次に処理工程が終了される。或は、処理工程はステップS280に戻り、そこでFEL入力キューから新しい

メッセージが獲得される。

図54は、単一曲げの実行中の全体的曲げ工程を示すフローチャートである。

曲げ工程の実行では、第1ステップS298において、ロボットが該パーツをダイ空間内に設置する。その後、該パーツは、X, Y方向及び回転方向について一致させられる。このアラインメントは、バックゲージ操作の一部である。ステップS300で、プレス・テーブルがピンチ・ポイント、つまり、ダイがワークに当接するポイントに上げられ、代わってワークは、ダイと工具パンチ間でピンチされた半安定状態になるようパンチ工具と系合する。ステップS302で、曲げが曲げを伴い実行される(即ち、曲げの実行全体を通してロボット・グリッパがワーク上の掌握を維持する)。その後、ステップS304で、プレス・ブレーキが開放される。次に、ステップS306において、該パーツがダイ空間からアンロードされる。該パーツがアン

ロードされると、曲げが完了する。

図55は、ロボット・タスク92と、一般的運動機能、センサ・ベースの運動機能を含む、そこで提供される様々な機能とを示す図である。一般的運動機能には、共同空間移動、デカルト移動、ポイントの回りでの回転が含まれる。センサ・ベースの運動機能には、保護移動、曲げ続き、開ループ曲げ、作動ダンプ、当接制御、一致パートロードが含まれる。一致パートロードは、該パートがダイ空間内に適合し、ワークと衝突しないよう、振動する一致パートの適切なタイミングのダイ空間へのロードにより構成される。

図56は、プレス及びL/UL(ローダ・アンローダ)タスク94、該タスク内に提供される様々な機能を示す図である。プレス制御に提供される機能には、プレス上げ、プレス下げ、曲げが含まれる。L/UL機能には、ワークのロード、ワークの開放、製品の掴み、製品のアンロードが含まれる。

図57は、バックゲージ・タスク96、そこに提供される様々な機能を示す図である。バックゲージ・タスクには、一般的運動機能、センサ・ベースの運動機能が含まれる。ある一般的運動機能には、移動機能が含まれる。センサ・ベースの運動機能には、パート端発見、保護移動機能が含まれる。

## 8. 速度及び品質学習

ここで図示する曲げシステムには、計画の1回以上の

初期走行の結果から学習し、それに応じて操作速度を向上し、また結果的に生じるワークの品質を改善するためにその計画を修正する機構が1つ以上設置される。この点に関して、ワークのある位置から他の位置への移動を含む操作を実行するために、センサ・ベースの制御機構が提供される。曲げ装置は、センサ出力を使用してワークの移動を修正するが、センサ出力に基づくワークの移動修正量を測定する。次に、ワークの移動修正量を学習することにより、学習内容に基づき操作が制御され、それによりワークは、センサ出力を利用しワークの移動修正を行うことなく、ある位置から別の位置に移動されるようになる。

図58は、生成された曲げシーケンス計画の多重実行中の学習測定の実行と移動制御の修正工程との例を示す図である。ここでは、ワークのある位置から別の位置への移動は、垂下補填、X方向のバックゲージより構成される。センサ出力は、Xオフセットの測定量、該パーツの垂下オフセット測定量より構成される。

図示の処理工程における第1ステップS308では、パーツが垂下検知を使っての曲げのためロードされる。該パーツのオフセット量、つまり該パーツの垂下量が検知され、プランナ（例、図5A、6に示すプランナ72）に送り返される。次に、ステップS312で、Xオフセット値を得るために、該パーツがサイド・ゲージされる（X方向の測定）。この曲げで検出されたXオフセット値は、

プランナ（或はプロセス・マネジャ）に送り返される。次に、該パーツをY方向に一致させ、また適当な偏擺位置になるように該パーツを回転させるため、バックゲージが実行される。ステップS318で、その曲げが次に実行される。

ステップS320において、現在実行中の曲げシーケンス内に更に実行すべき曲げがあるかどうかの判定が行われる。実行すべき曲げがある場合、処理工程はステップS308に戻り、そこでその次の曲げに対応する値を得るために、ステップS308～S318が再び実行される。全ての曲げが完了すると、処理工程はステップS320からステップS322に進み、その時点で完成パーツがアンロ

ードされ、新しいワークがローダ・アンローダによりロードされる。次に、ステップS324において、前に判定され、プランナに送られた測定垂下オフセット、測定Xオフセットを使っての曲げのため、該パーツがロードされる。このような値を使うことにより、曲げ装置は、ワークの位置付け中にセンサ・ベースの制御を実行することなく（或は、少なくとも単純化されたセンサ・ベースの制御方法で）ワークの位置決定が可能である。これにより、ワークのダイ空間内への導入速度が大幅に上昇される。次に、ステップS326で、該パーツをY及び回転（偏擺）方向に一致させるため、バックゲージが実行される。次にステップS328でその曲げが実行され、ステップS330で、曲げシーケンス

内にまだ実行すべき曲げがあるかどうかの判定が行われる。全ての曲げが実行されると、処理工程はステップS332に進み、その時点でパーツが更に作成されるかどうかの判定が行われる。さらに多くのパーツが作成される場合、処理工程はステップS322に戻る。

アマダ社のBM100ワークステーション等、一般的な曲げワークステーションでは、その繰返し可能性により、オフセット値は、システムの1回、或は2、3回の走行で判定される必要があるだけである。オフセット値が判定されると、そのオフセット値は、将来のシステムのバッチ走行に利用でき、多くの走行において信頼できるものと考慮されるものである。従って、図58に示す処理工程は、新しいオフセット値を得るために大幅にステップS308に戻るよりも、各形成される新しいワークに対して、むしろステップS332からステップS322に戻るように示されている。

#### 9. コスト計算、スケジュール作成、パーツ設計、アセンブリ

本発明は、曲げ板金パーツ等の材料を生成するための知能設計、計画作成、製造システムにおいて提供される方法及びサブ・システムに関するものである。本発明は、更に、コスト計算（つまり、所定の板金曲げワークステーションで、ある形態のパーツを作成するのにかかる費用の判定）、スケジュール作成（例、所定の板金曲げワークステーションで様々なパーツ製造を実行するのに

要する時間の判定)、パーツ設計、アセンブリ等の機能を実行するのに利用できる。本発明の計画作成システム71(例、図5A参照)は、所定パーツの形成に必要な、完全な曲げシーケンスと曲げ関連操作の生成が可能である。生成された一連の操作には、板金曲げワークステーションによる曲げシーケンスの適切な順序での実行に必要な全ての工程を指定する完全な計画が伴われる。曲げシーケンスの生成において、計画作成システム71は、エキスパート及びサブ・プランナの使用を通じ、曲げシーケンス内の各曲げ、他付隨の操作の実行結果を判定する。従って、計画作成システム71により結果的に生成される計画を実際に実行することなく、計画作成システム71は、板金曲げワークステーションで該パーツを製造するために必要な全ての操作を実行するのに要する可能性のある時間に関して、情報を有することになる。更に、計画作成システム71は、板金曲げワークステーション及び有効工具だけが特定の設計パーツを形成可能かどうか更に確認することができるようになる。所定の計画での様々な操作実行の結果を知ることにより、計画作成システム71は、結果的に必要なコストの判定ができ、そのような情報をを利用して、所望のアセンブリを形成する所定1セットのパーツを生成するコストが評価される。

更に、計画作成システム71は、該パーツの様々な操作を完了するのに必要な時間に関する情報により、工場

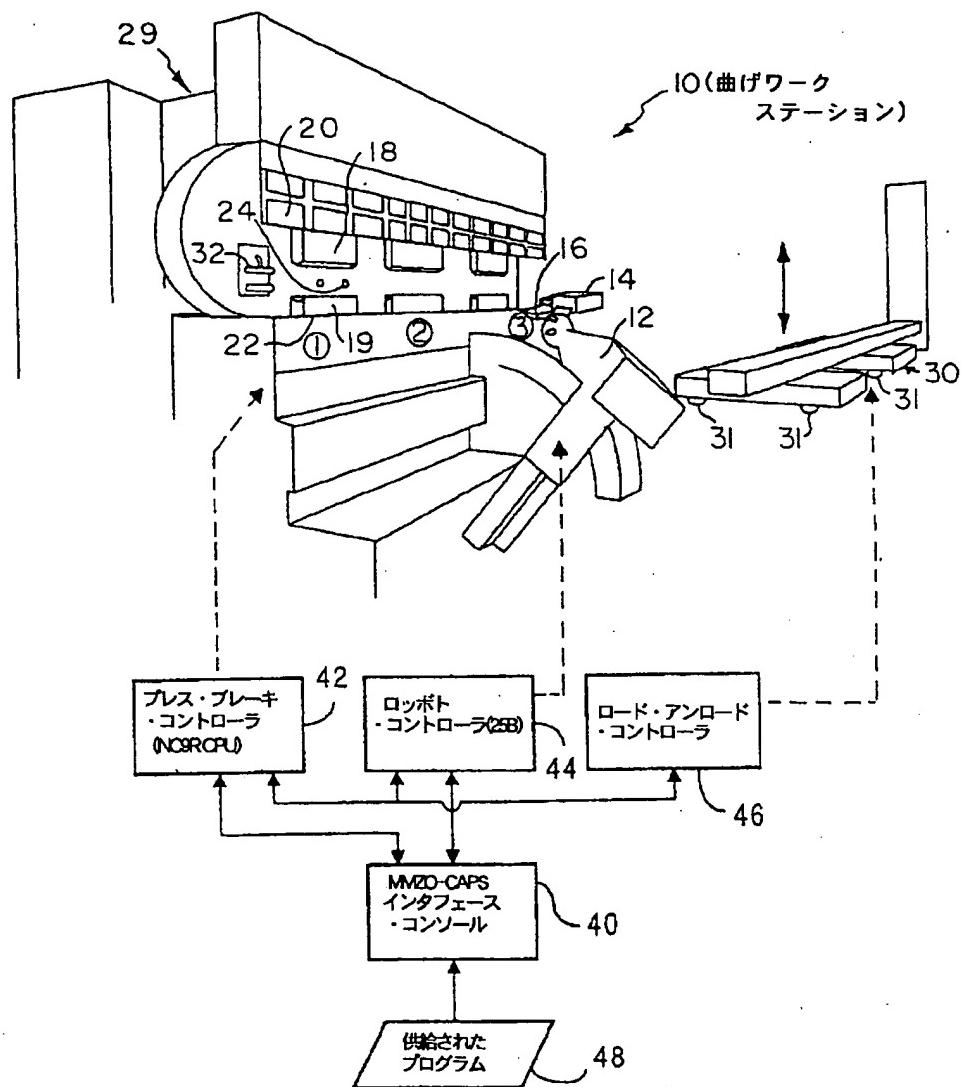
でのスケジュール判断が可能となる。また、特定パーツの生成制限、該パーツの生成に要する時間、コストを知ることにより、そのような情報を利用し、該パーツ生成に必要なコスト、時間の削減に結果的に繋がる代わりのパーツ設計の作成も可能である。

計画作成システム71を、特にそれぞれ曲げシーケンス計画作成モジュール72とは別個のモジュール形態で実施される複数のエキスパートを備えるものとして述べてきたが、計画作成システム71は、モジュールに分割されなくても実施可能である。例えば、計画作成システム71は、1つの全体的操作計画作成モジュールとして実施できる。更に、図5Aに示す実施例では、各モジュール間の通信で利用される言語は、F E L以外であっても良い。

質問ベースの言語を利用する図5Aに示すモジュール構造は、モジュール間のインターフェースを形式化し、結果的に更にモジュールを加え、及び／又は計画作成システムのモジュールを修正することにより、容易に拡大可能なオープン・アーキテクチャとなる。本発明の一般的意図の範囲内での計画作成システム71の他の修正も可能である。計画作成システム71による操作の実行速度を向上させるため、図5Aの実施例に示すように、各モジュール(つまり、曲げシーケンス・プランナ72、サブ・プランナ80、82、84、85)は、別個のコンピュータ・プロセッサ上で実施される。

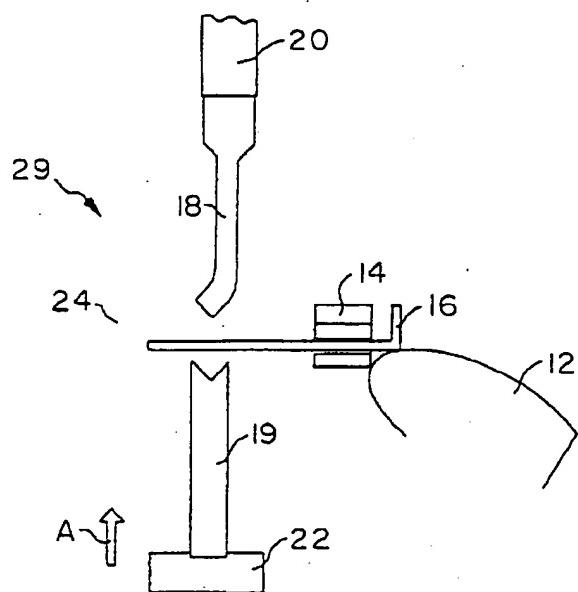
以上本発明を図示の実施例を基に説明したが、本文書内で使用した言葉は、説明のためのものであり、制限を加えるものではない。添付クレームの範囲内で、また本発明の様々な態様の範囲、意図を越えることなく、変更は可能である。本発明を特定の手段、材料、実施例を基に説明したが、本発明は、本文書内で開示した特定事項に限定されるわけではなく、添付クレームの範囲内であれば、全ての同等な構造、方法、使用に適用するものである。

【図1】



**FIG. I**  
PRIOR ART

【図2】

FIG. 2  
PRIOR ART

【図3】

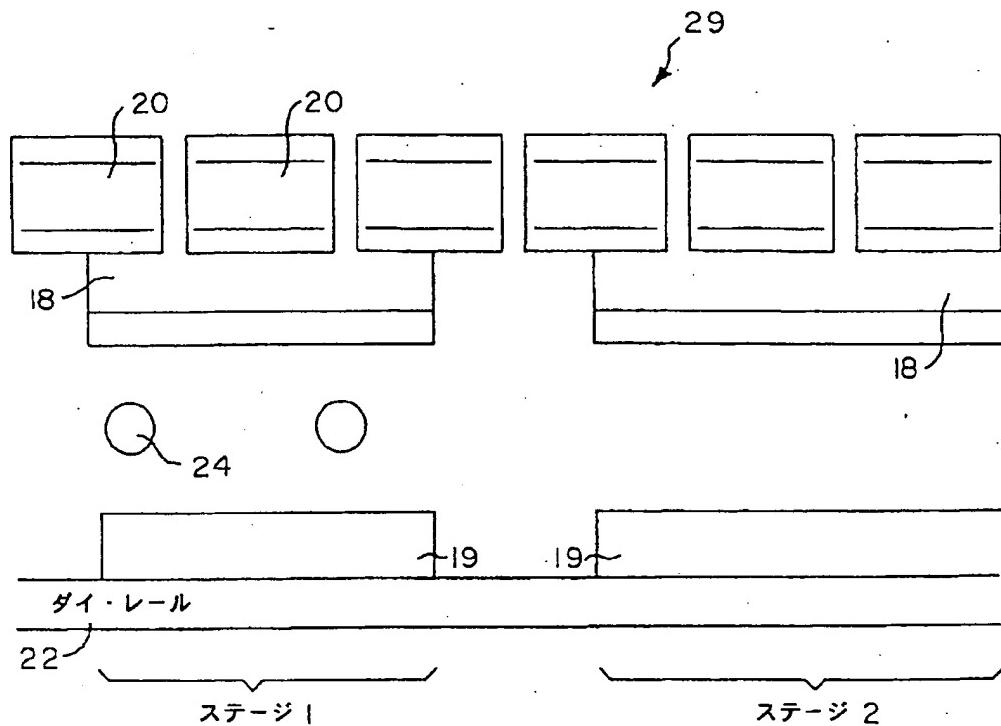
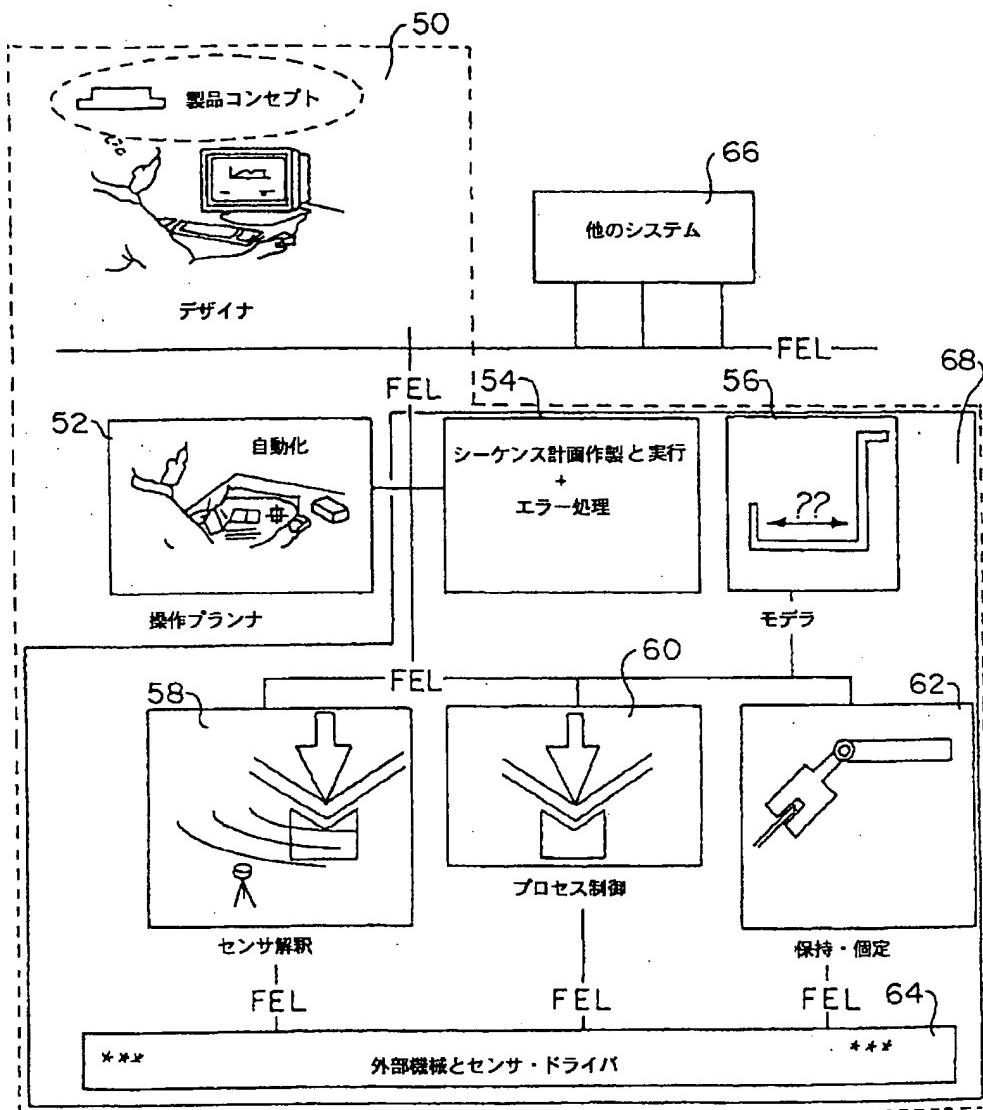


FIG. 3

PRIOR ART

【図4】

FIG.4  
PRIOR ART

【図5A】

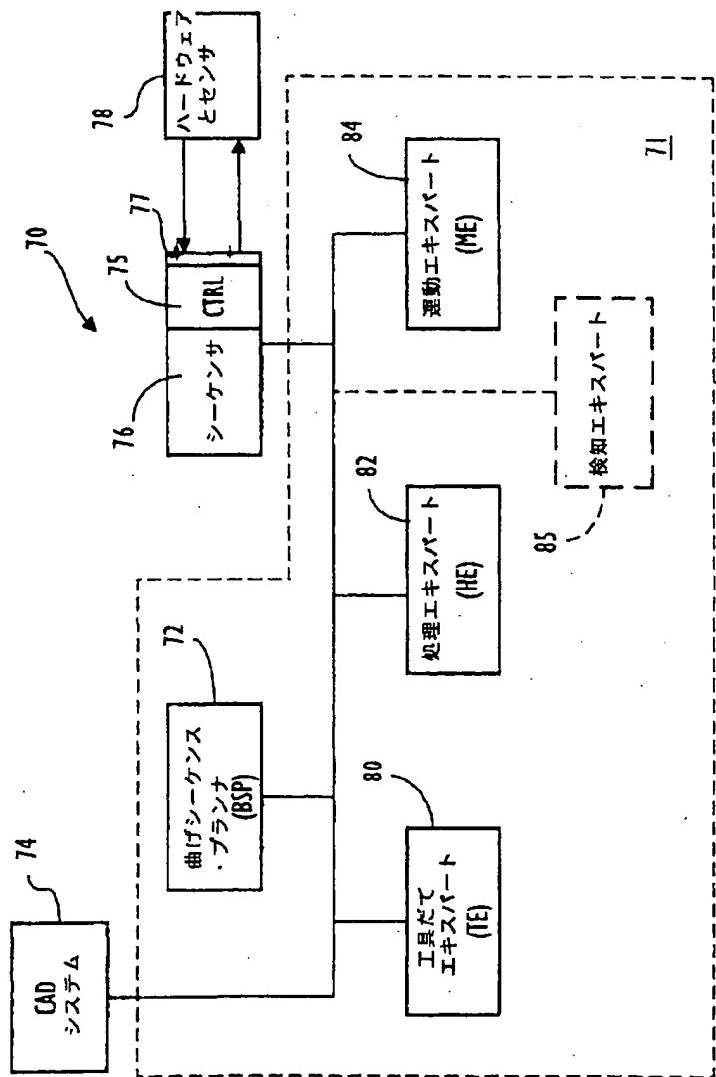


FIG. 5A

【図5】

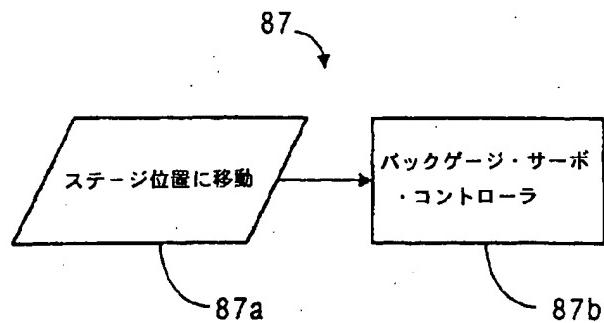


FIG. 5B

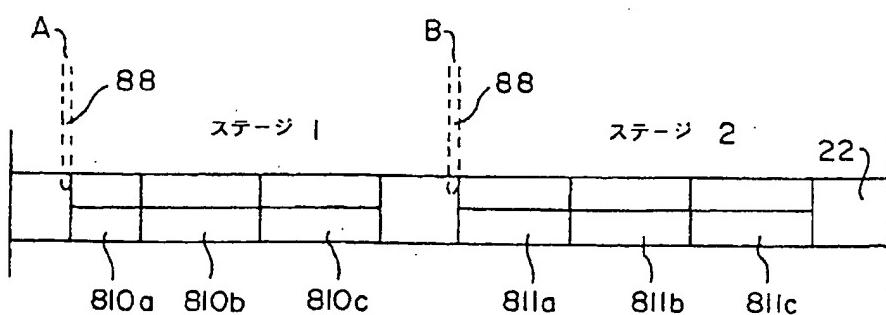


FIG. 5C

【図6】

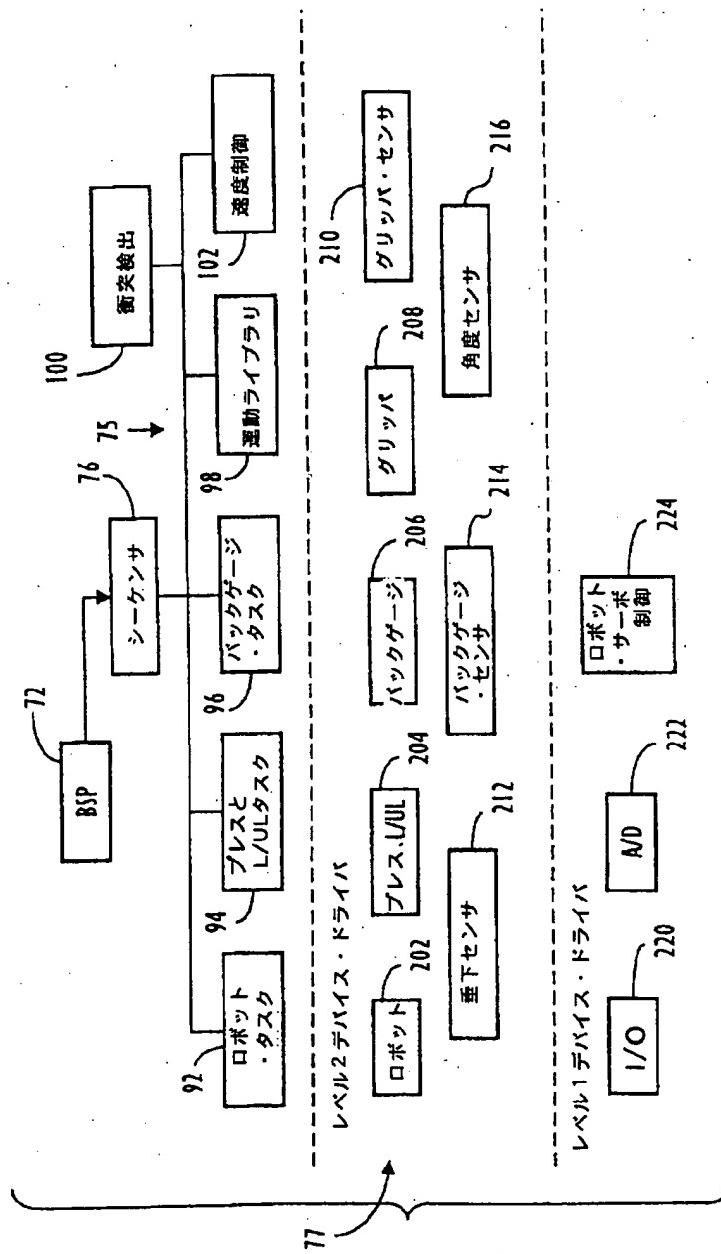


FIG. 6

【図7】

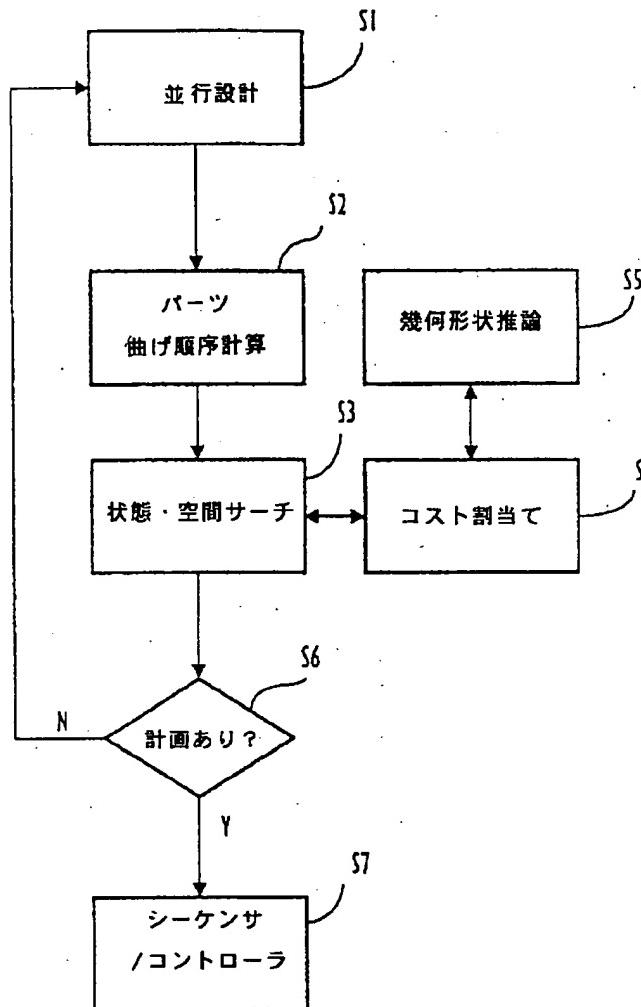


FIG. 7

【図8】

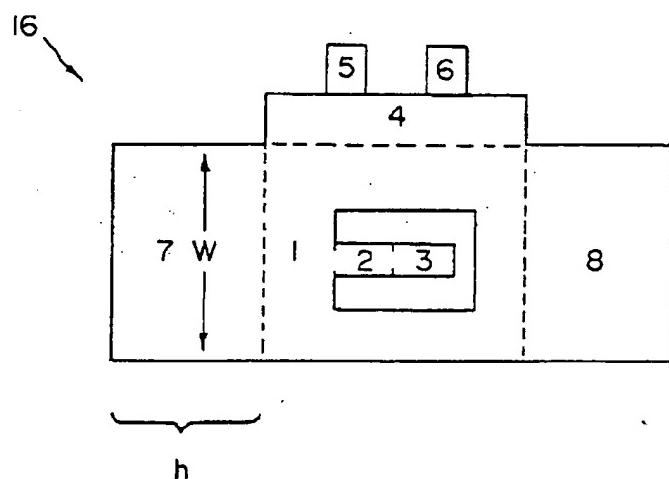


FIG. 8

【図9】

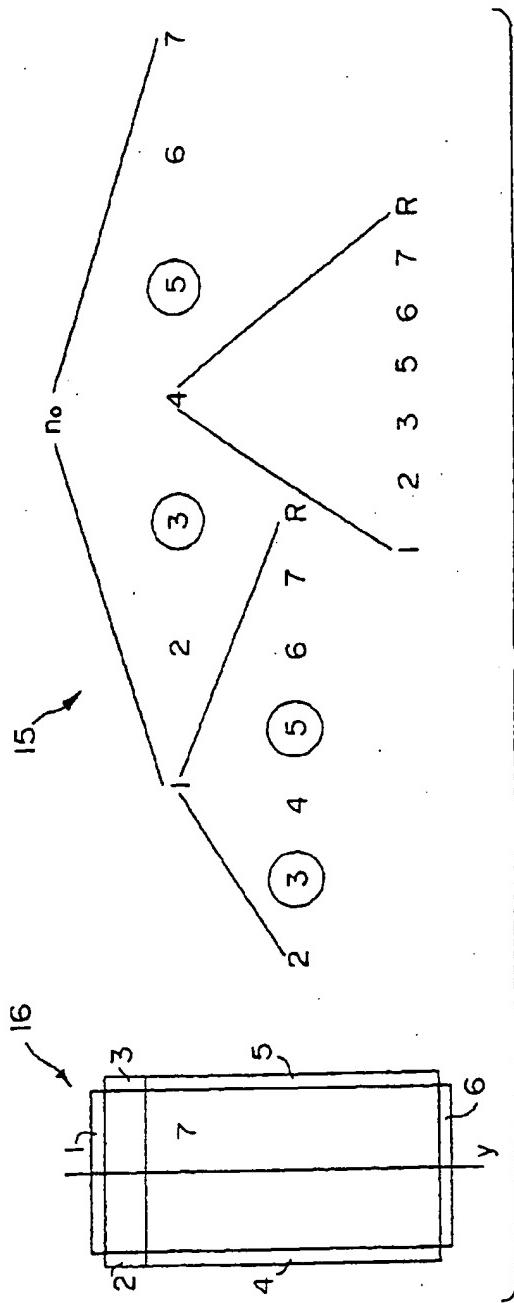


FIG. 9

【図10】

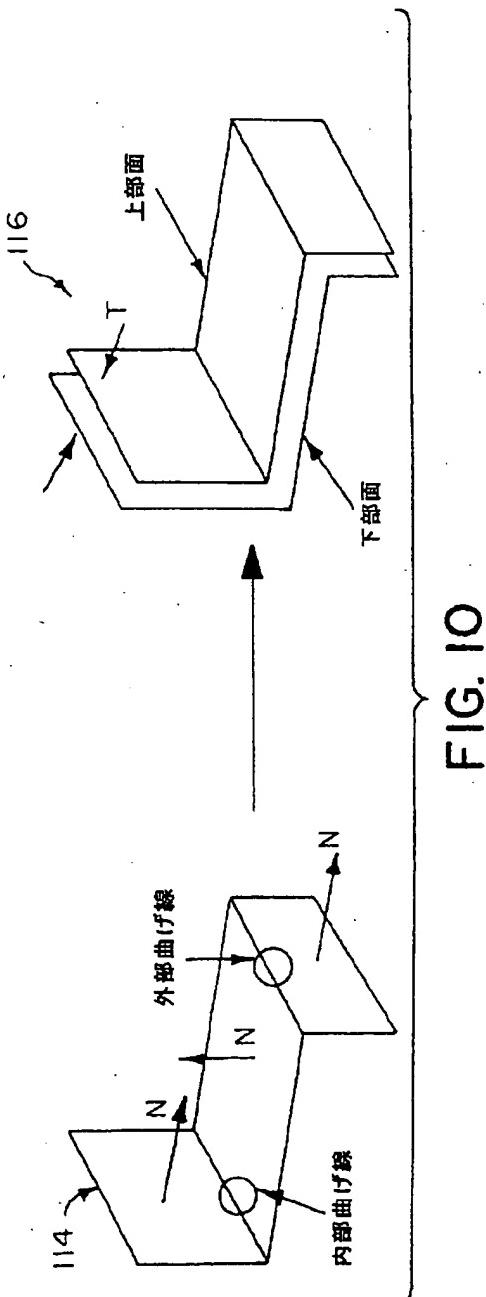
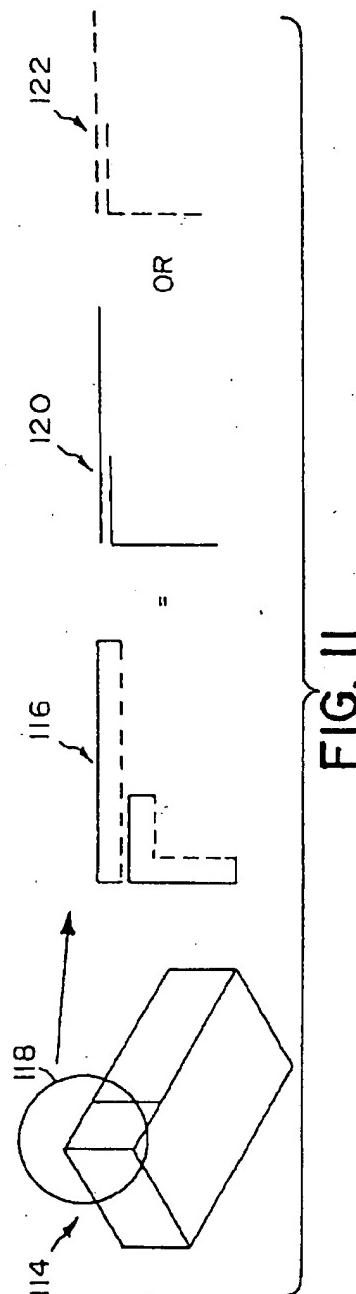
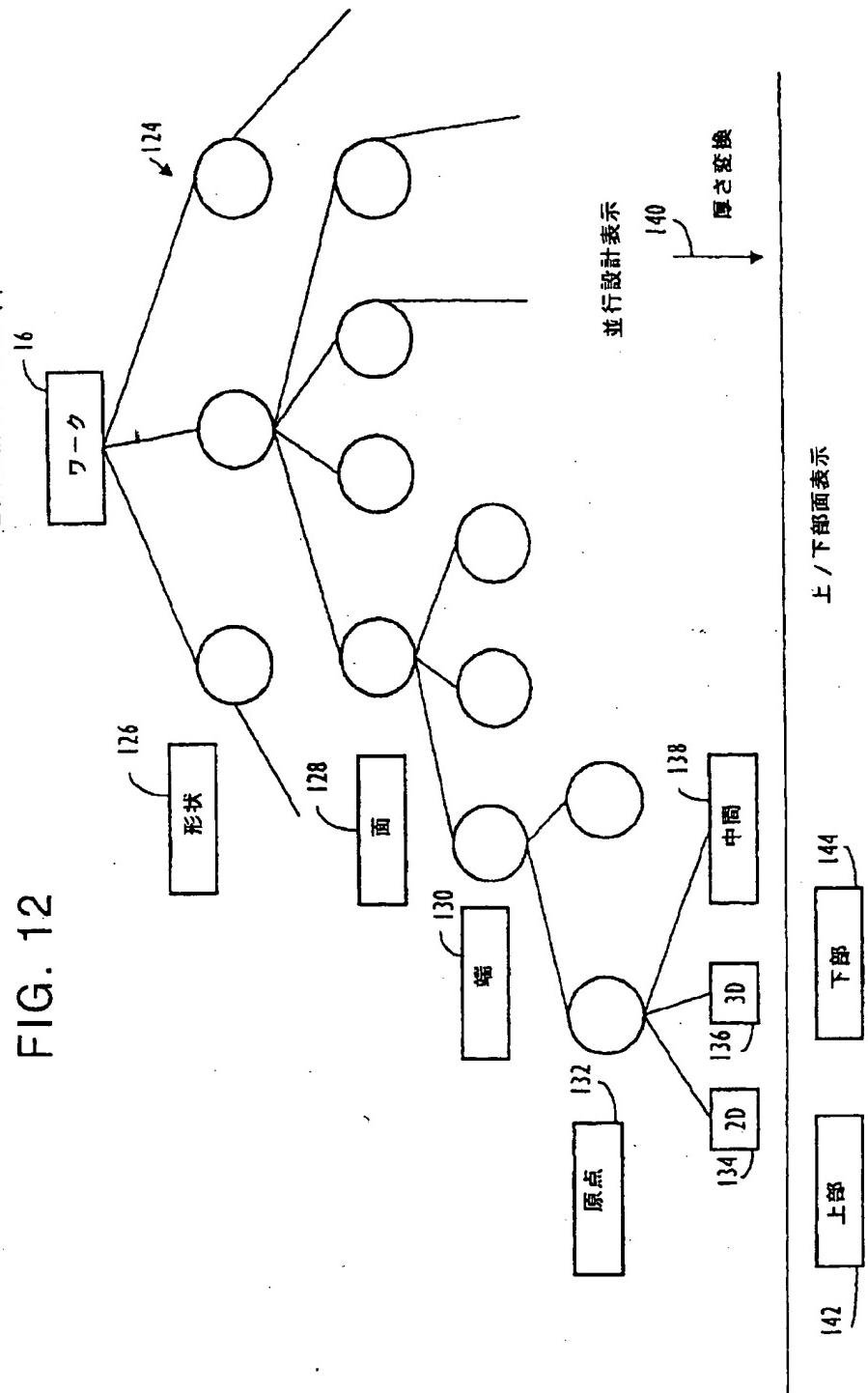


FIG. 10

【図11】



【図12】



【図13】

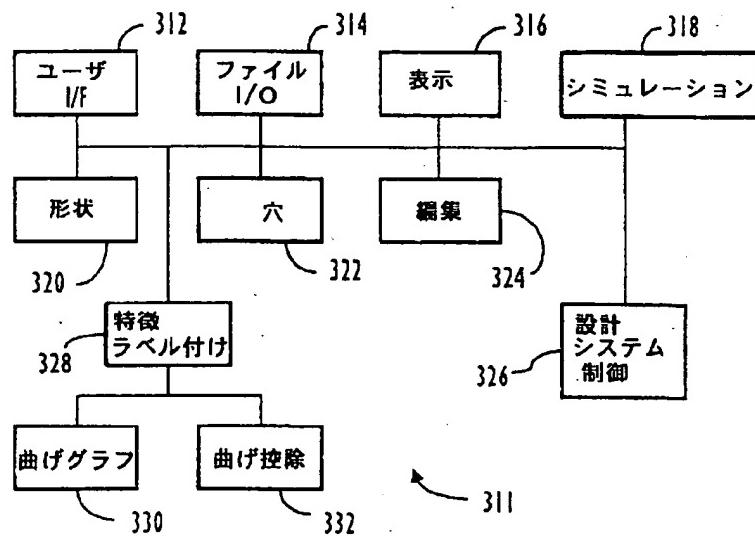


FIG. 13A

【図13】

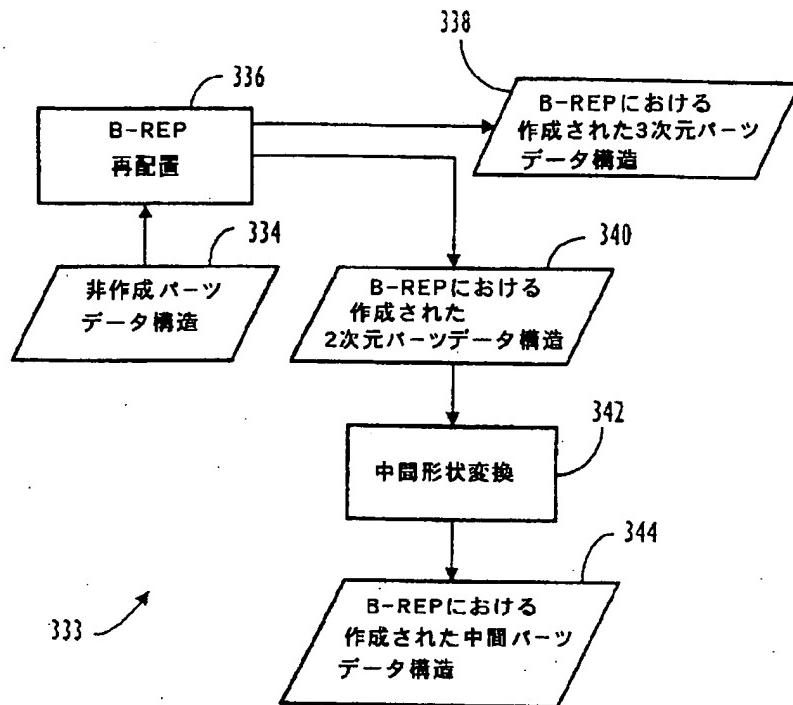


FIG. 13B

【図13】

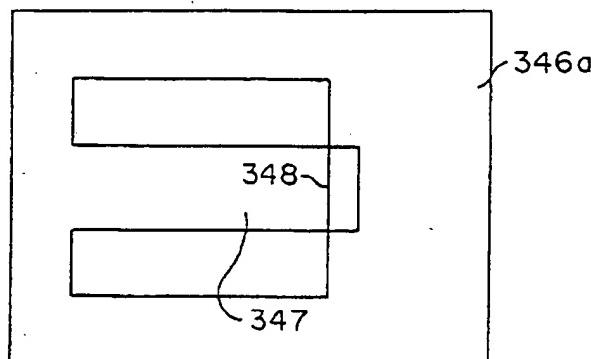


FIG. 13C

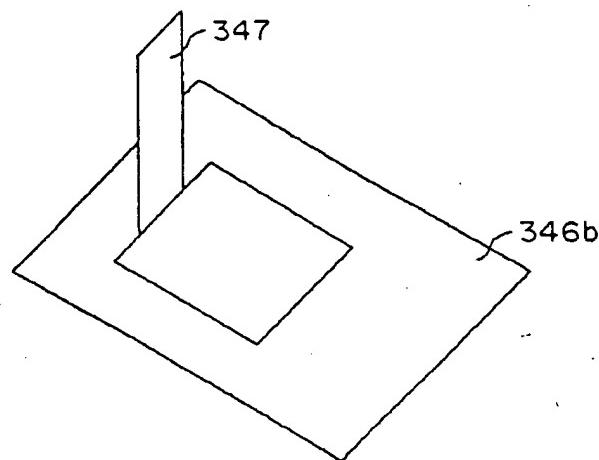


FIG. 13D

【図14】

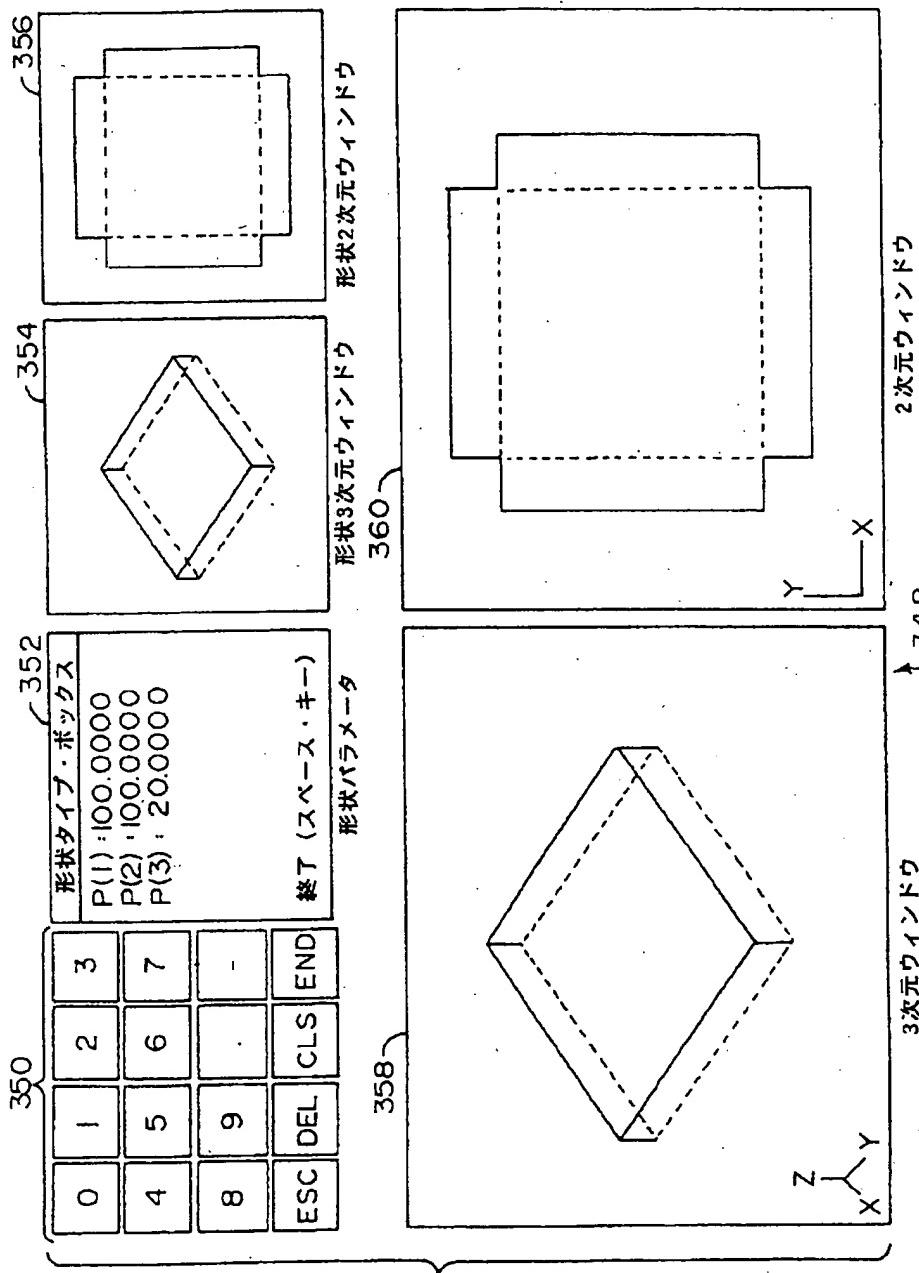


FIG. 14 A

【図14】

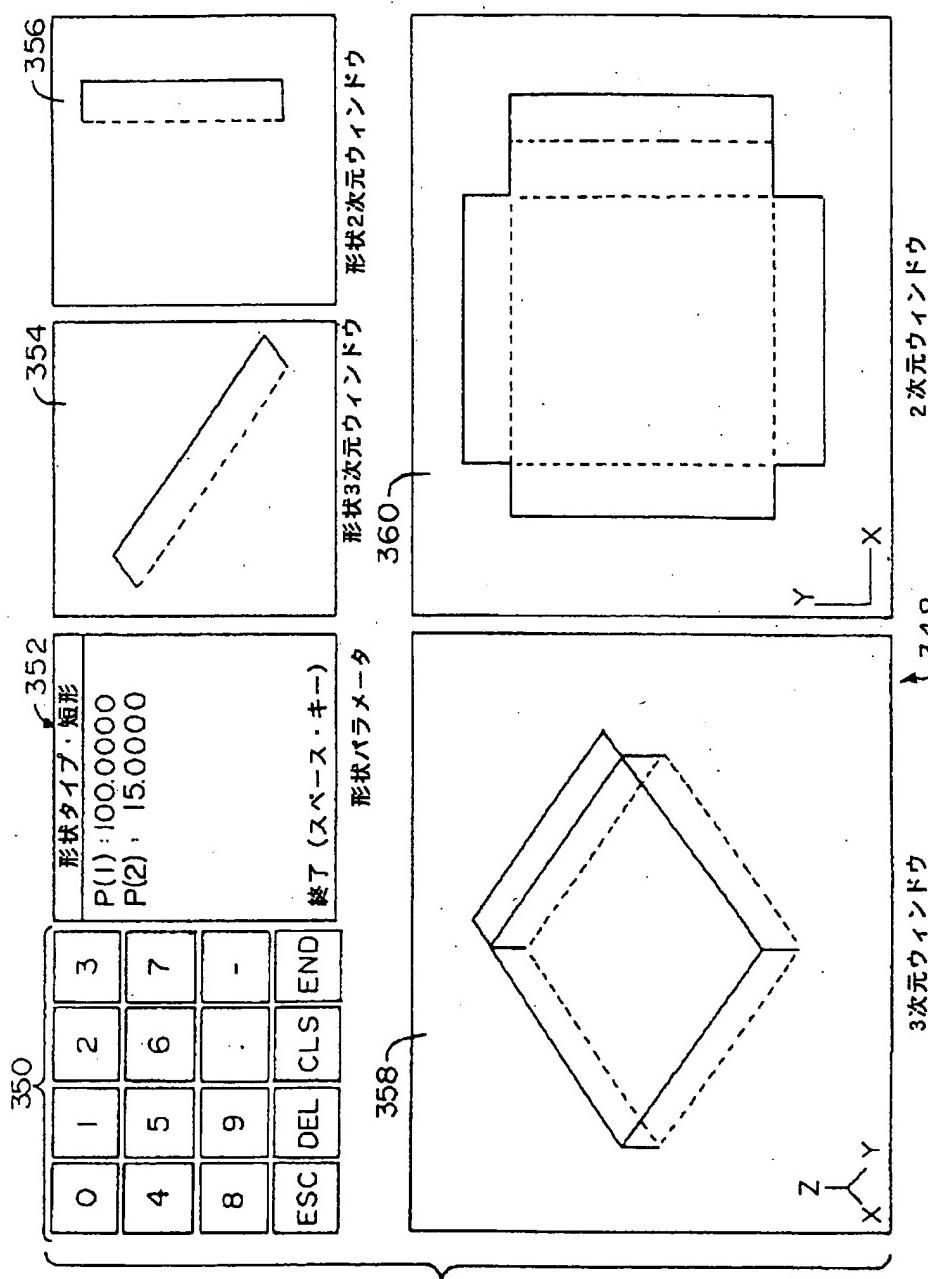


FIG. 14B

【図14】

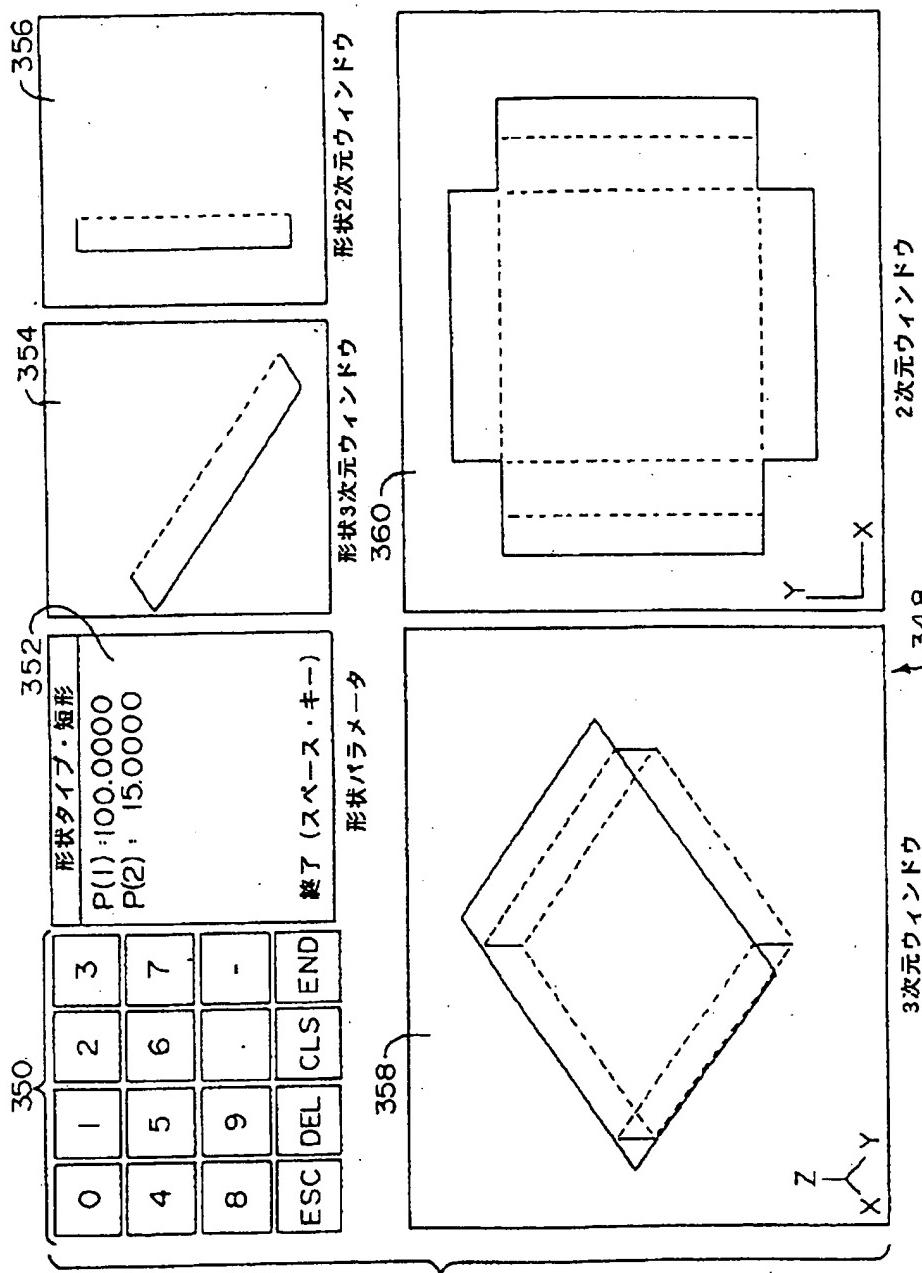


FIG. 14C

【図14】

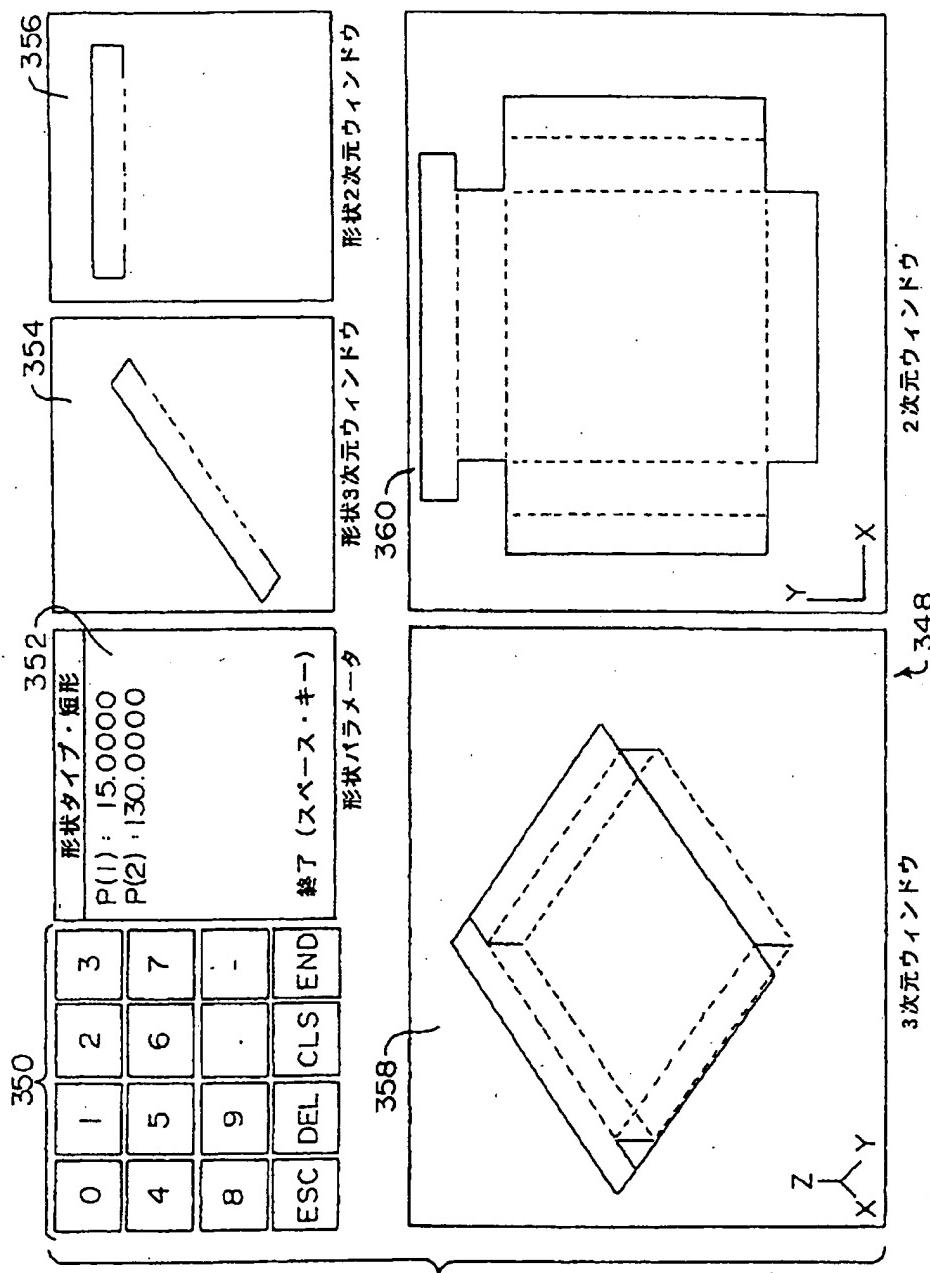


FIG. 14 D

【図14】

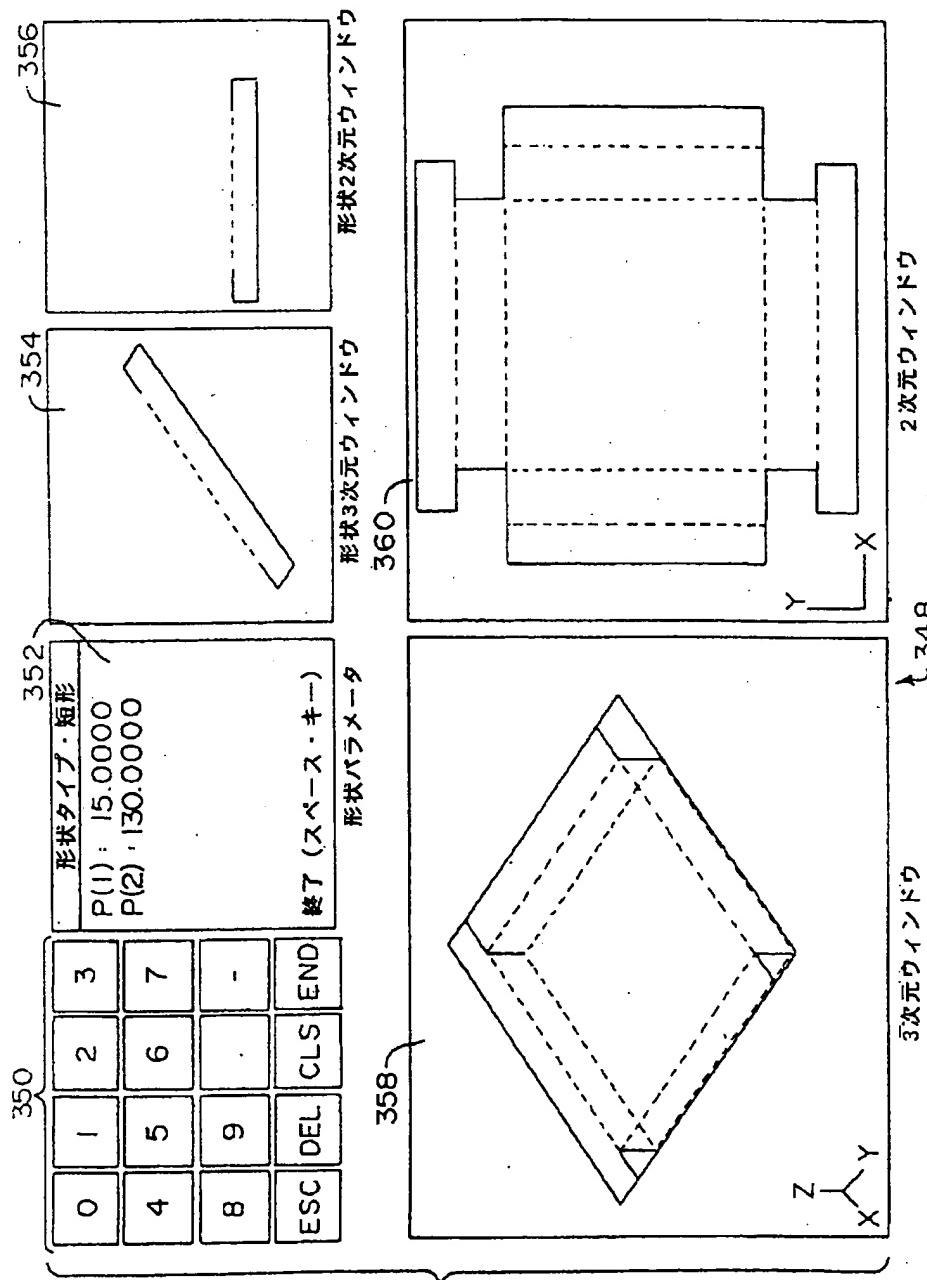


FIG. 14 E

【図15】

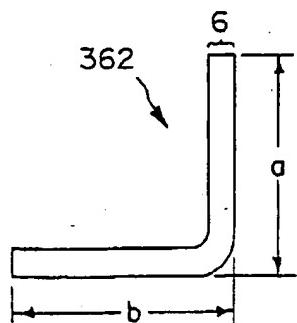


FIG. 15A

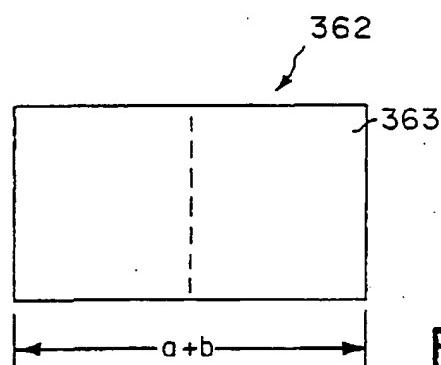


FIG. 15B

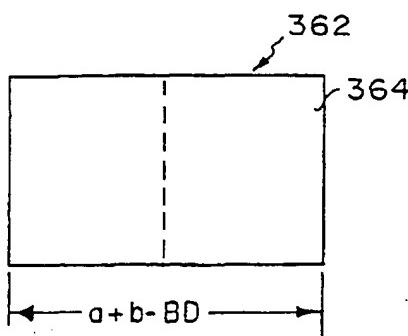


FIG. 15C

【図16】

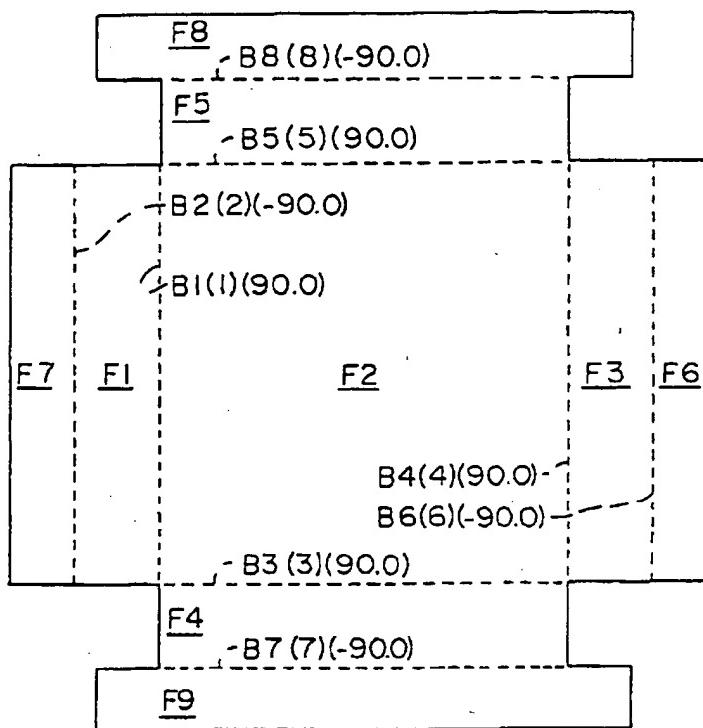


FIG. 16

【図17】

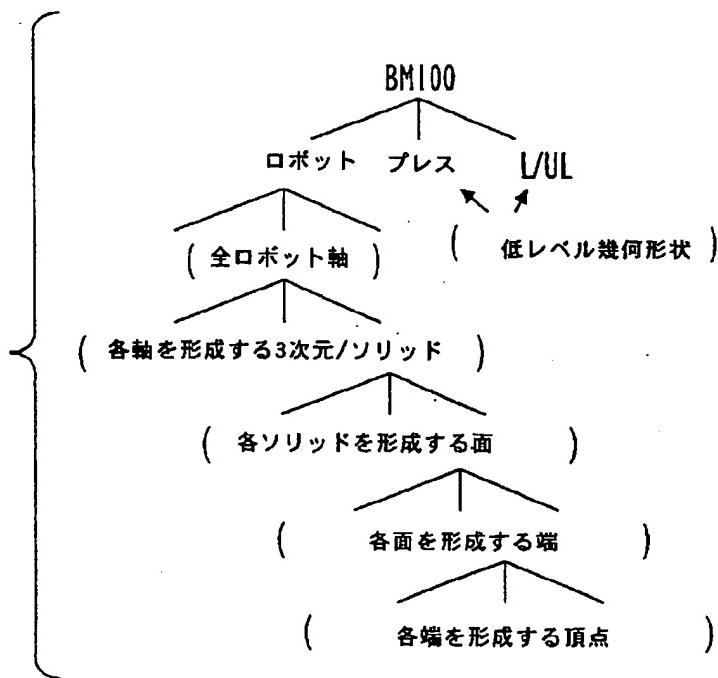


FIG. 17A

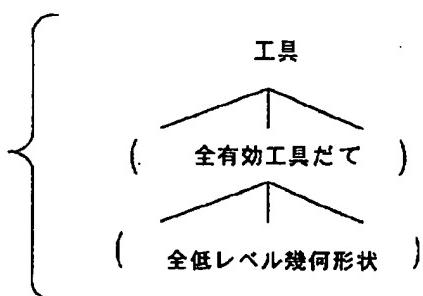


FIG. 17B

【図18】

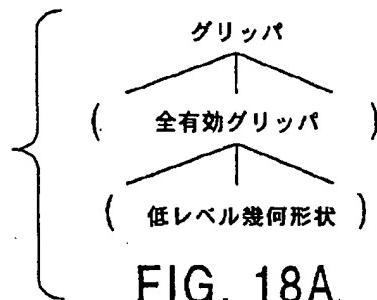


FIG. 18A

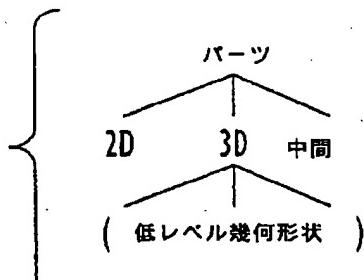


FIG. 18B

【図19】

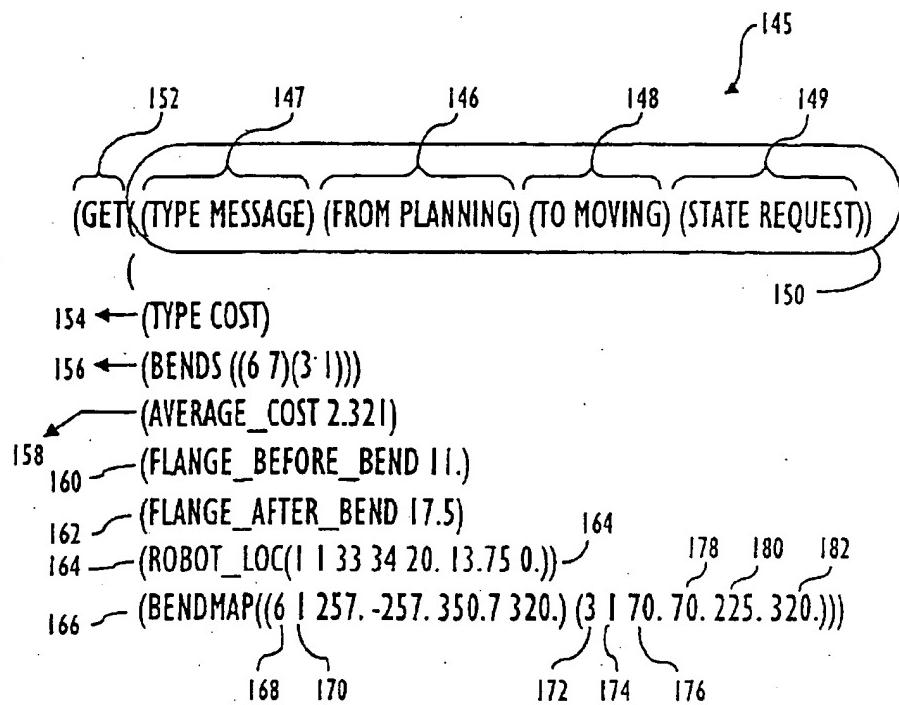


FIG. 19

【図20】

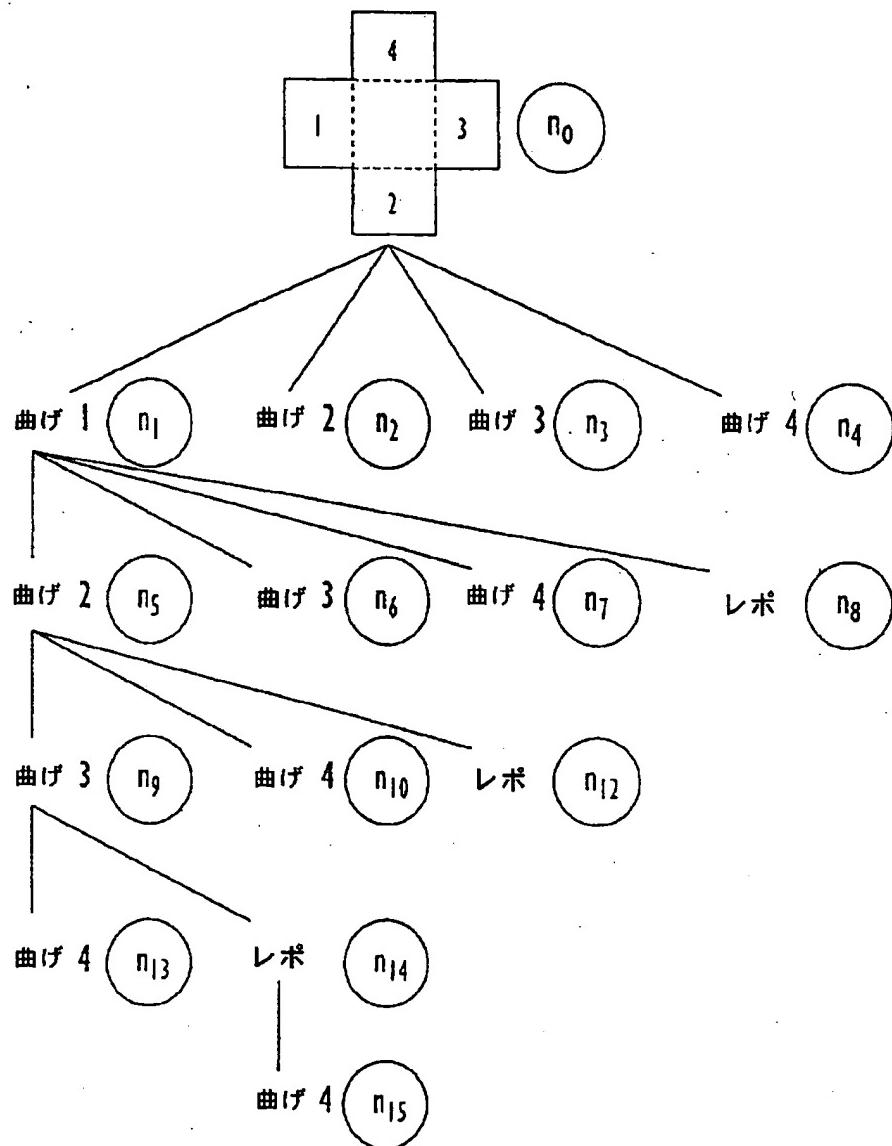


FIG. 20A

【図20】

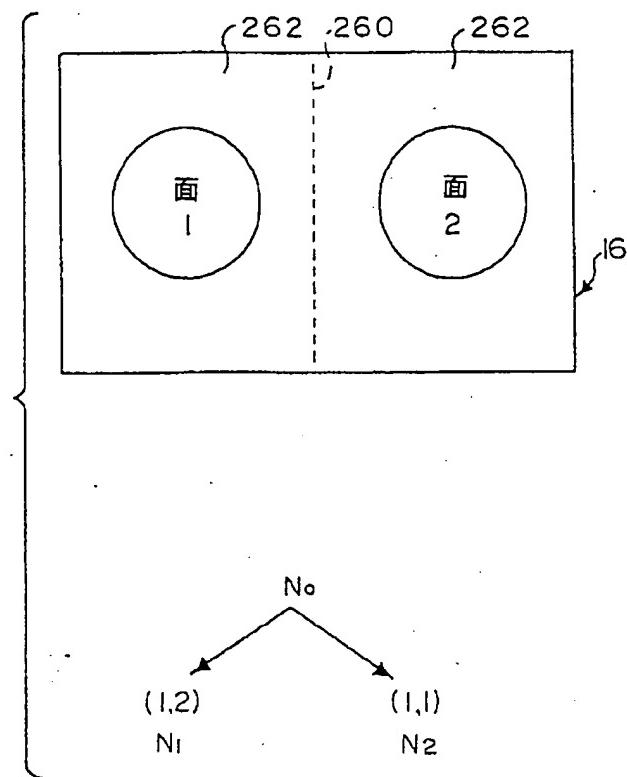


FIG. 20B

【図20】

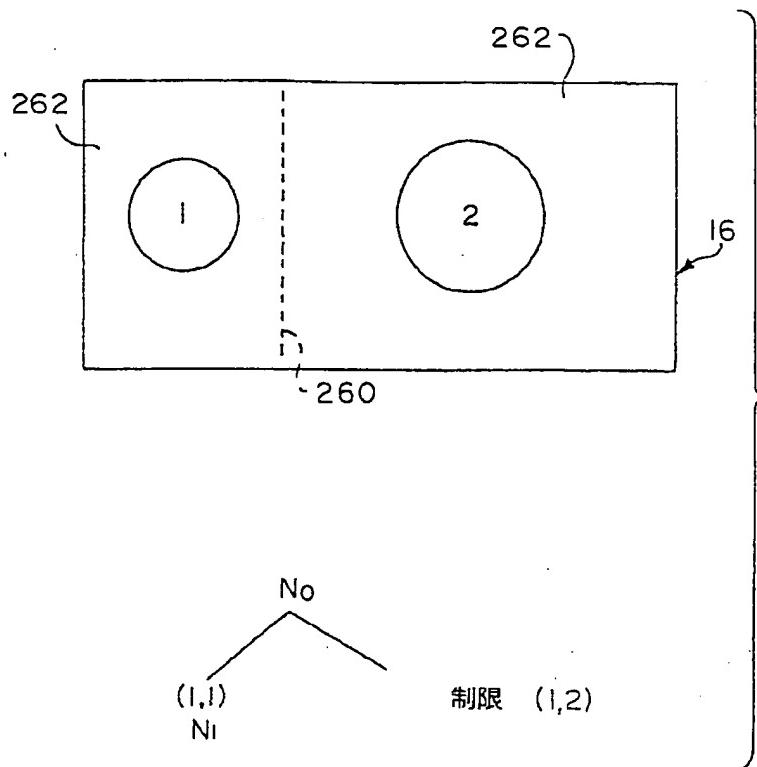


FIG. 20C

【図20】

FIG.20D

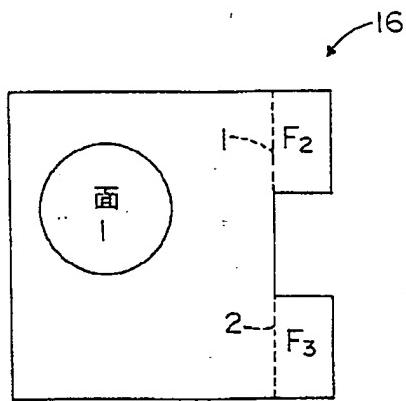
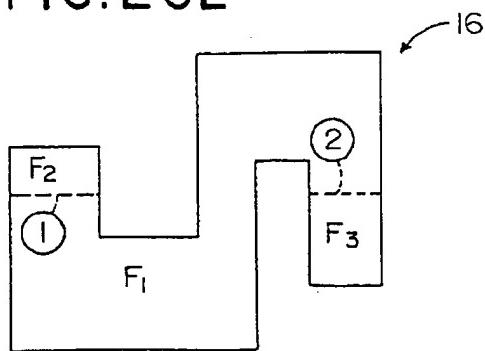


FIG.20E



【図21】

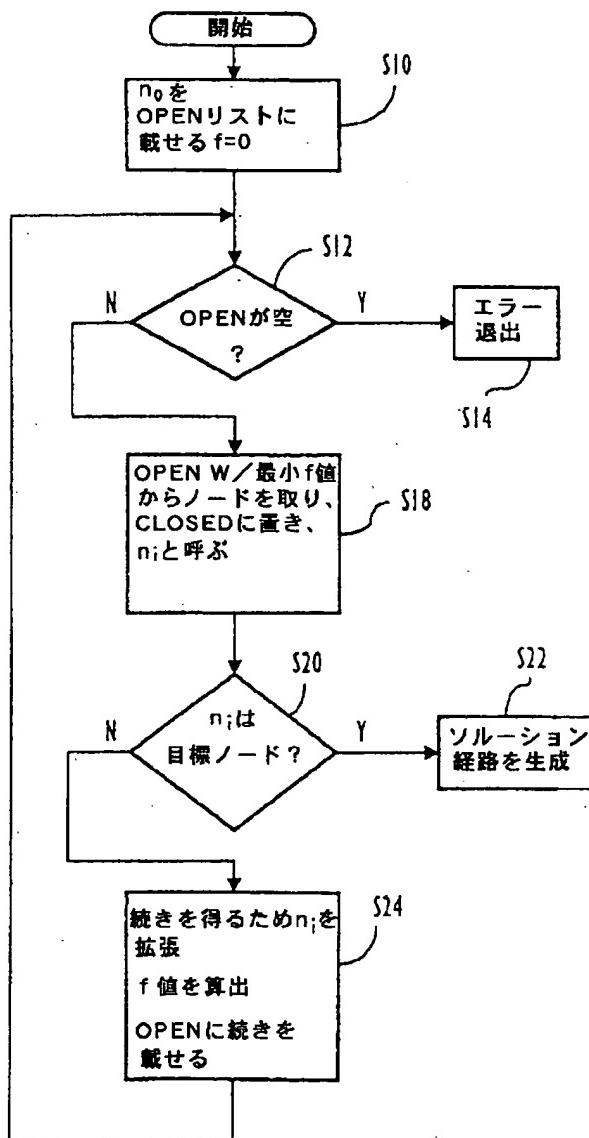


FIG. 21

【図22】

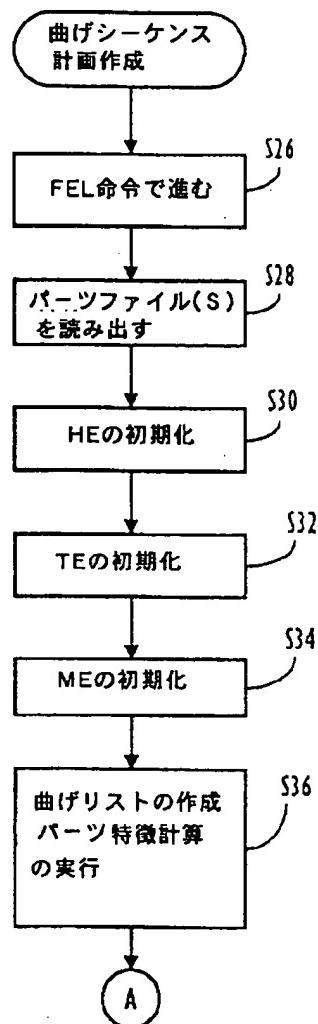


FIG. 22A

【図22】

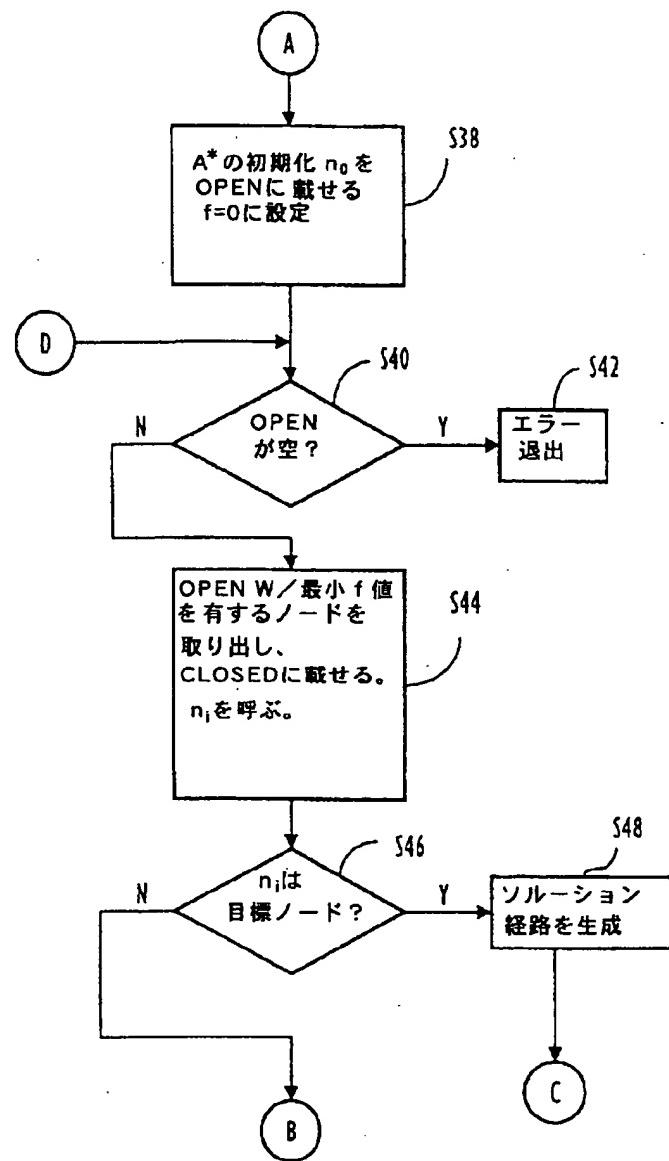


FIG. 22B

【図22】

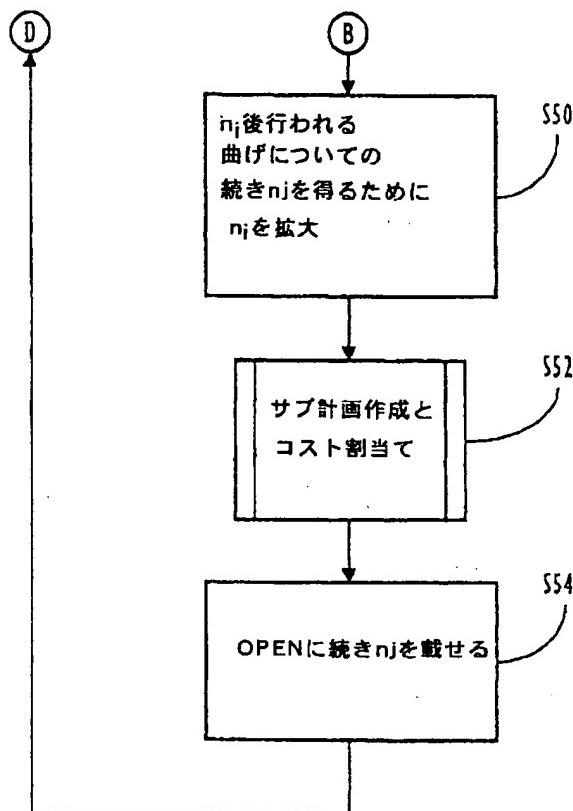


FIG. 22C

【図22】

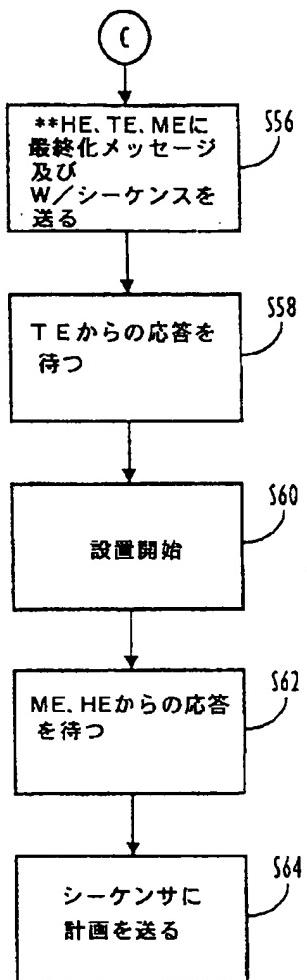


FIG. 22D

【図23】

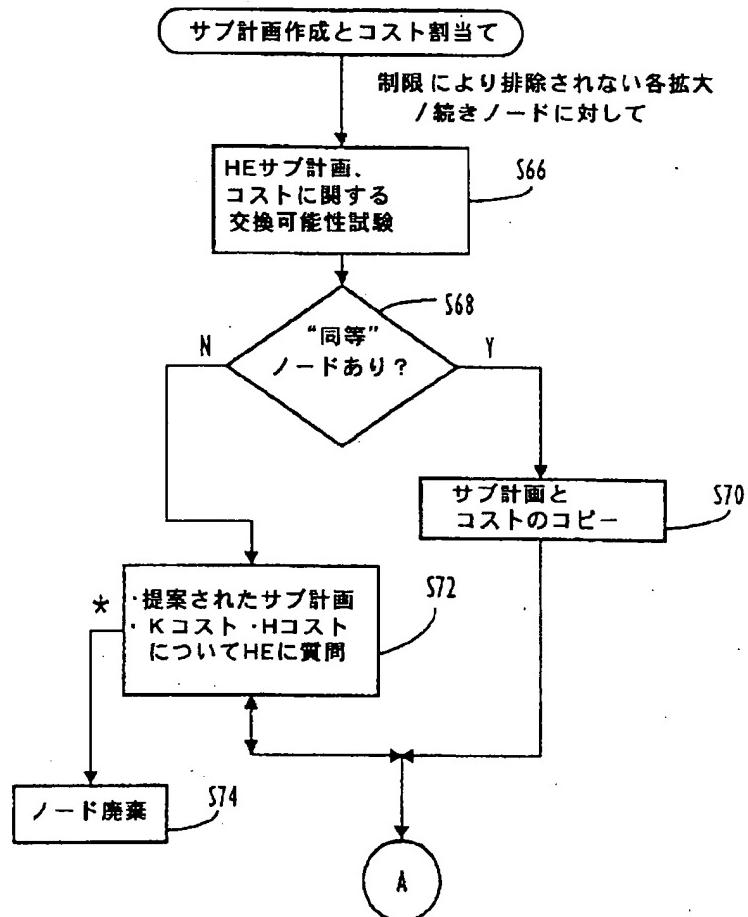


FIG. 23A

【図23】

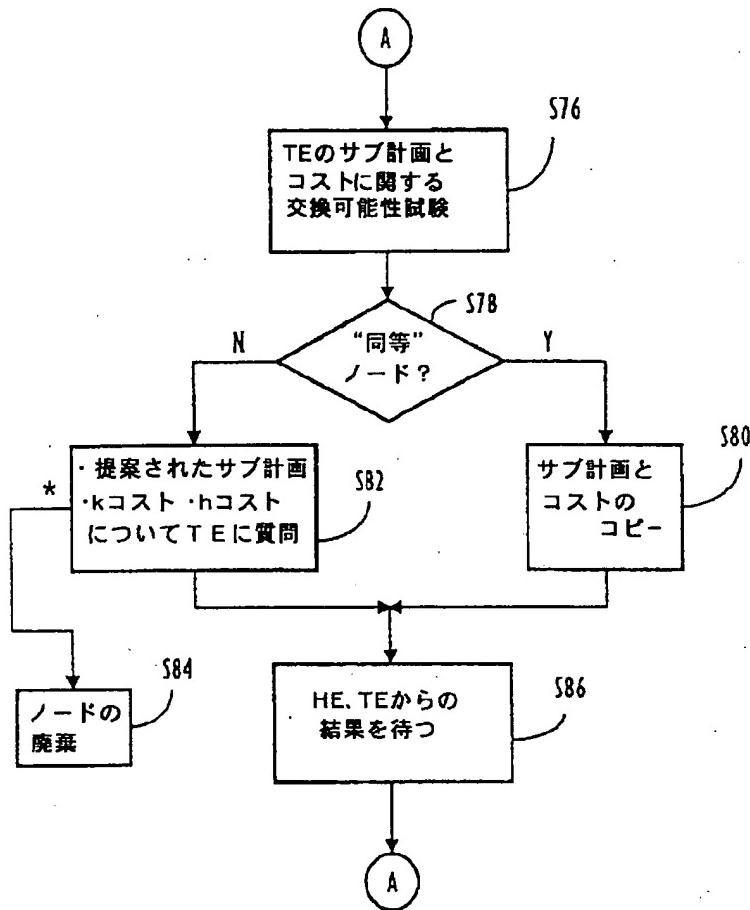


FIG. 23B

【図23】

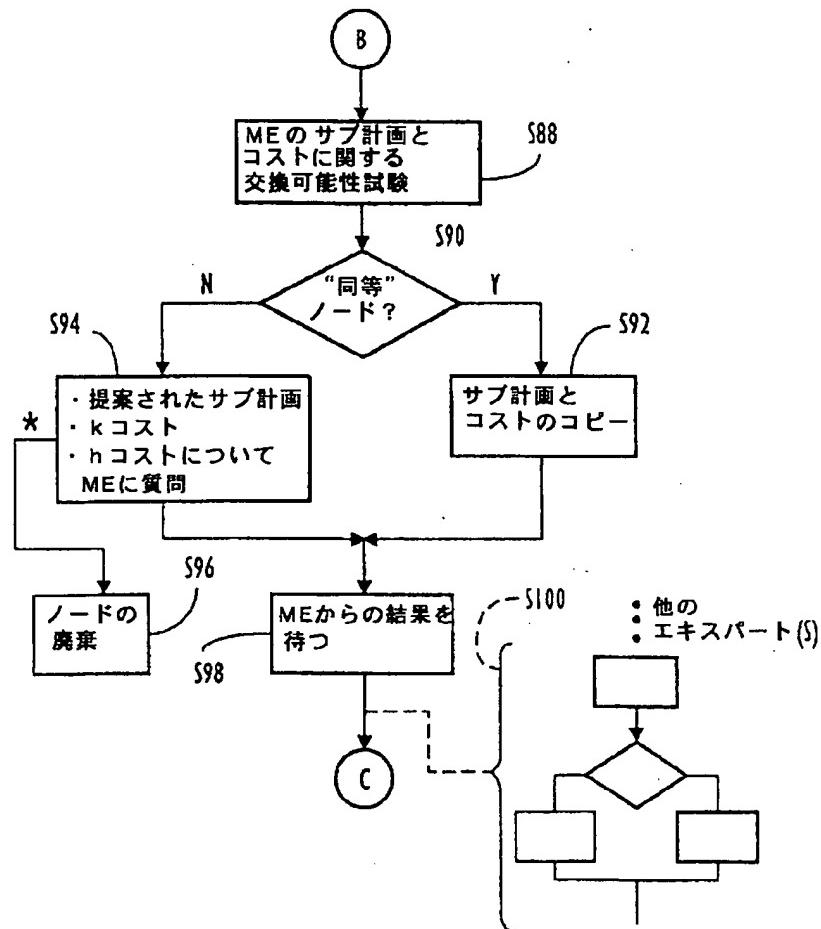


FIG. 23C

【図23】

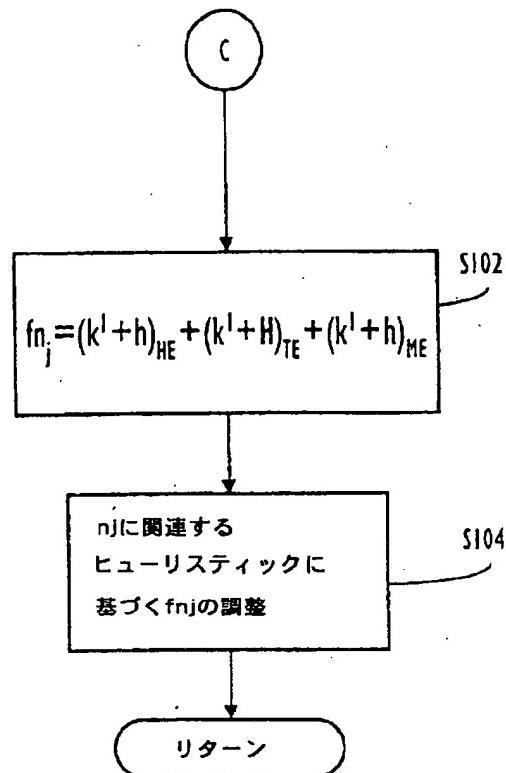


FIG. 23D

【図24】

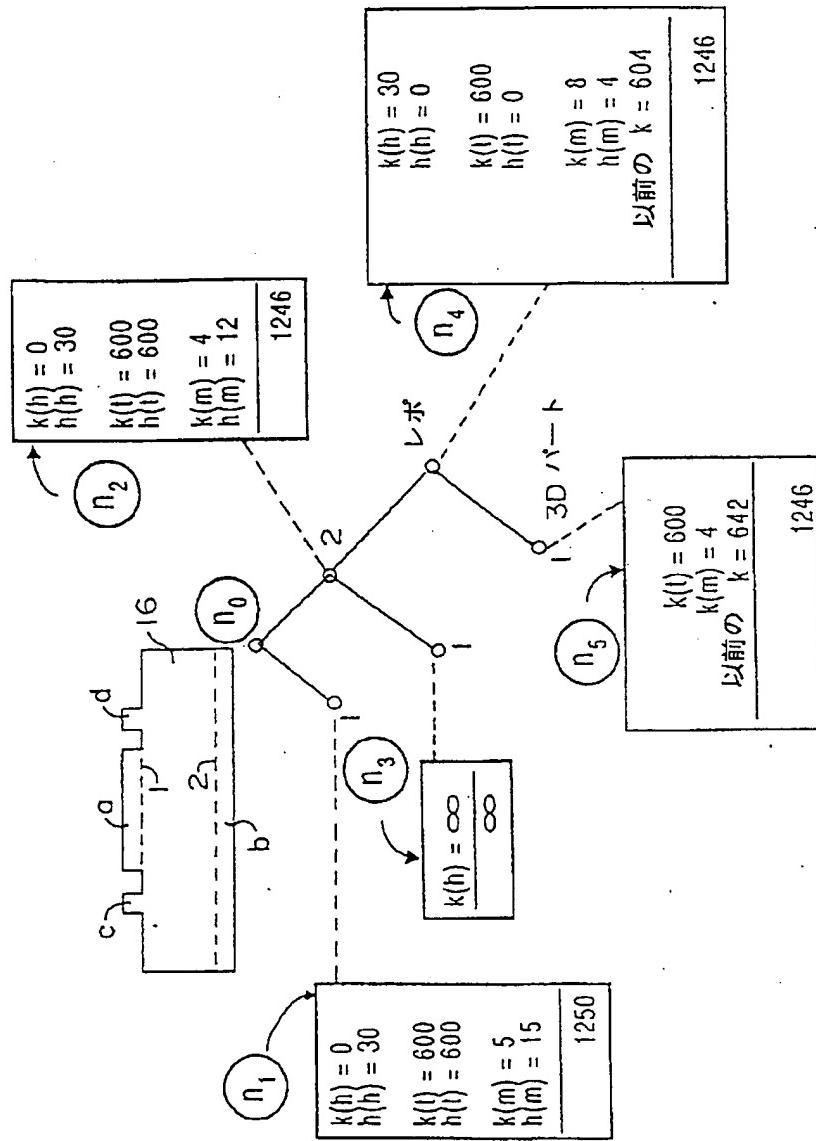


FIG. 24

【図25】

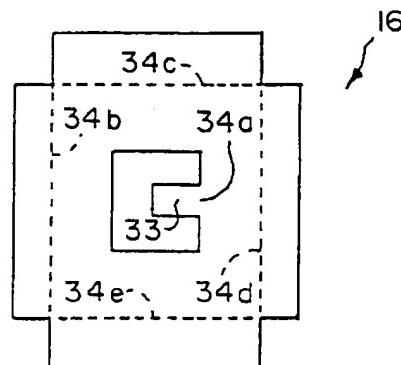


FIG. 25 A

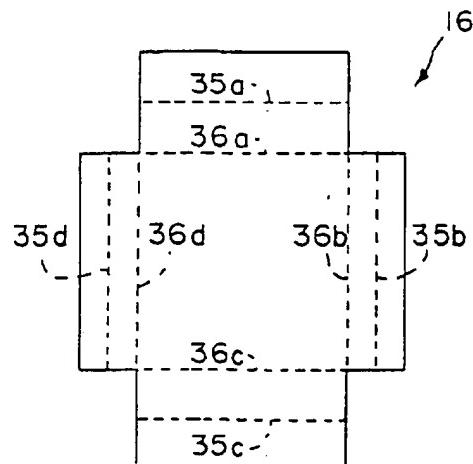


FIG. 25 B

【図25】

FIG. 25C

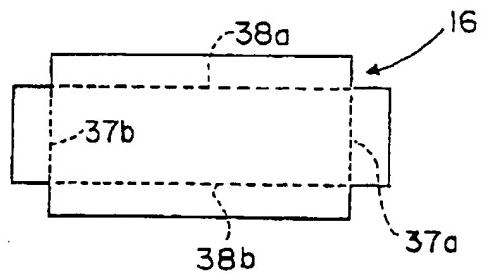


FIG. 25D

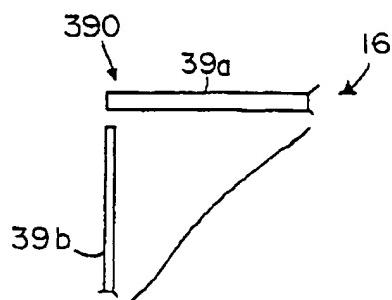
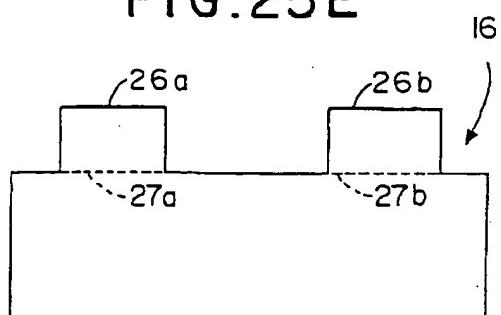


FIG. 25E



【図26】

FIG. 26A

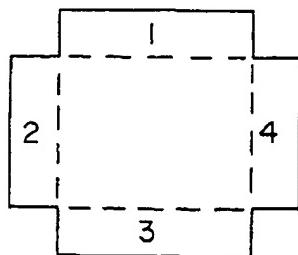
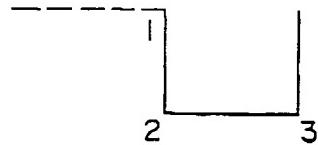


FIG. 26 B



【図27】

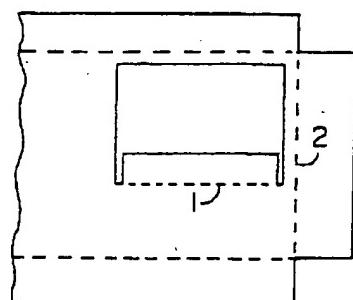


FIG. 27A

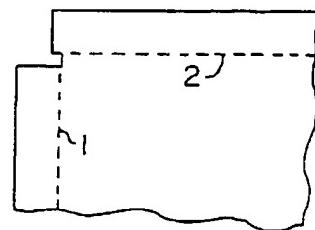


FIG. 27C

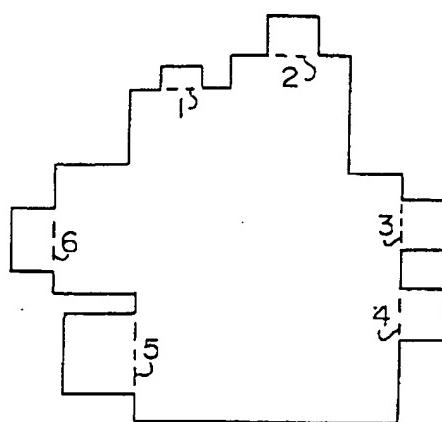


FIG. 27B

【図28】

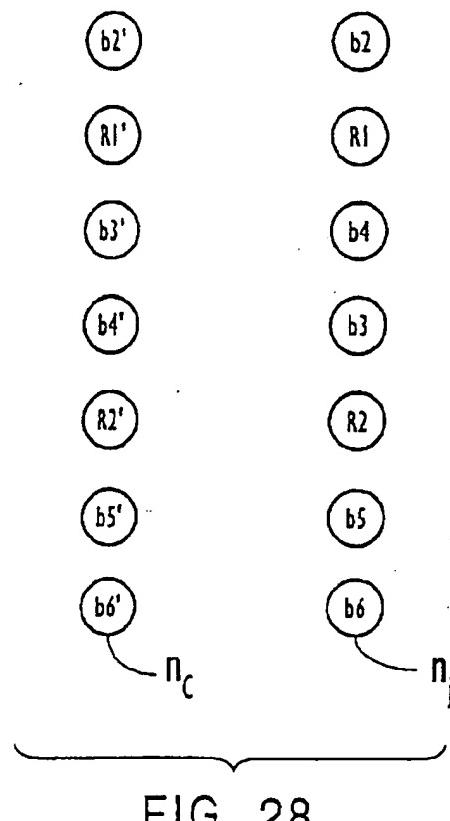


FIG. 28

【図29】

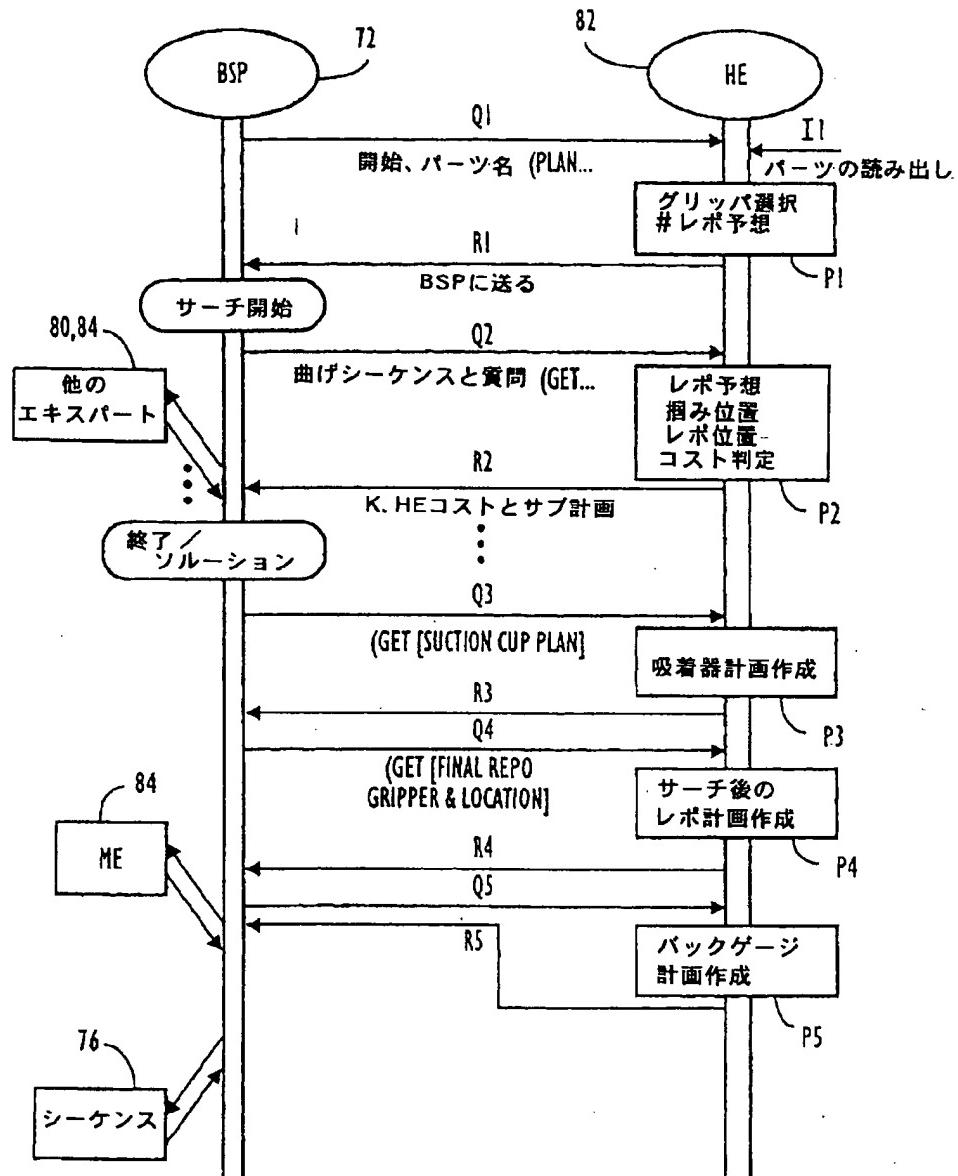


FIG. 29

【図30】

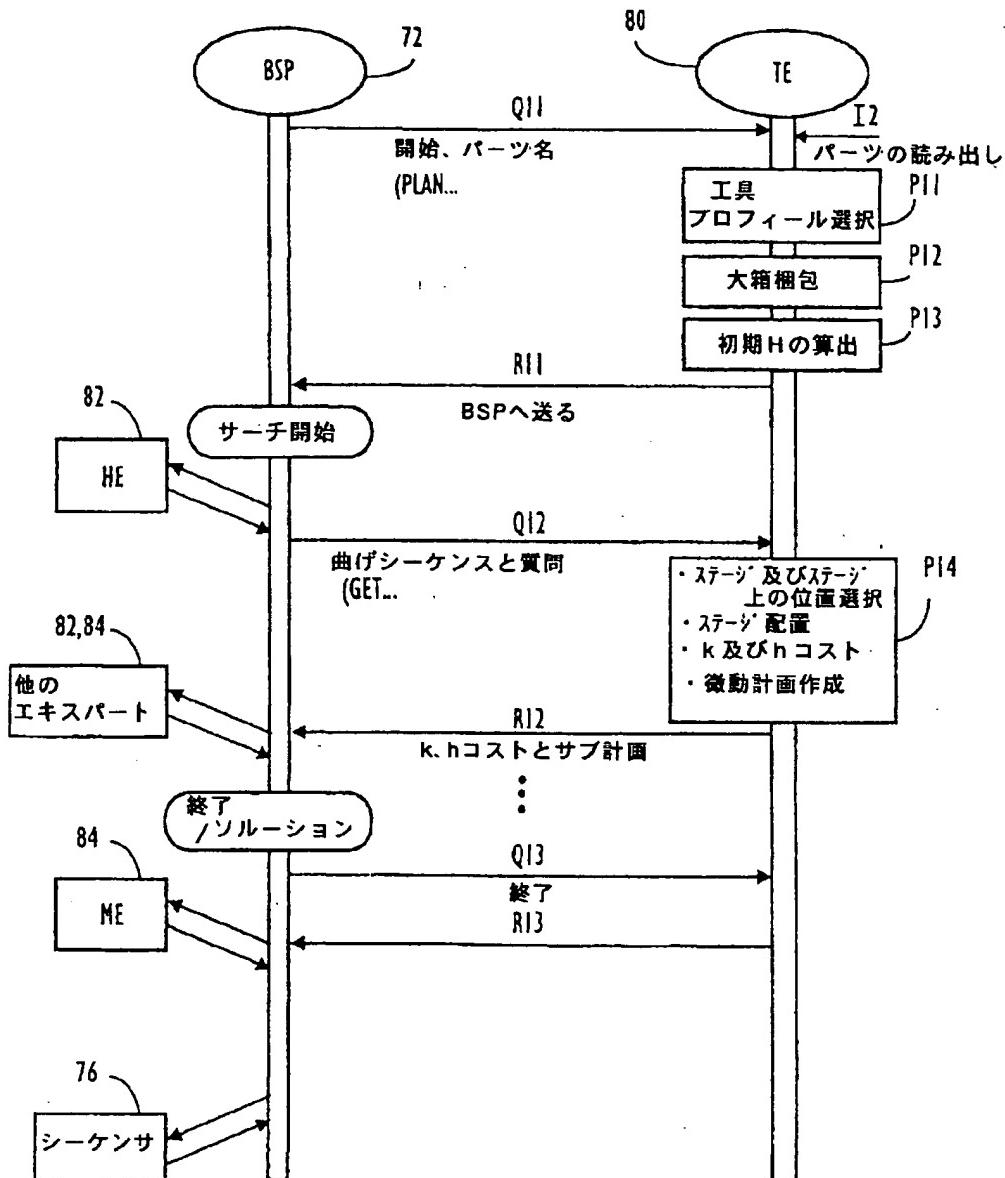


FIG. 30

【図31】

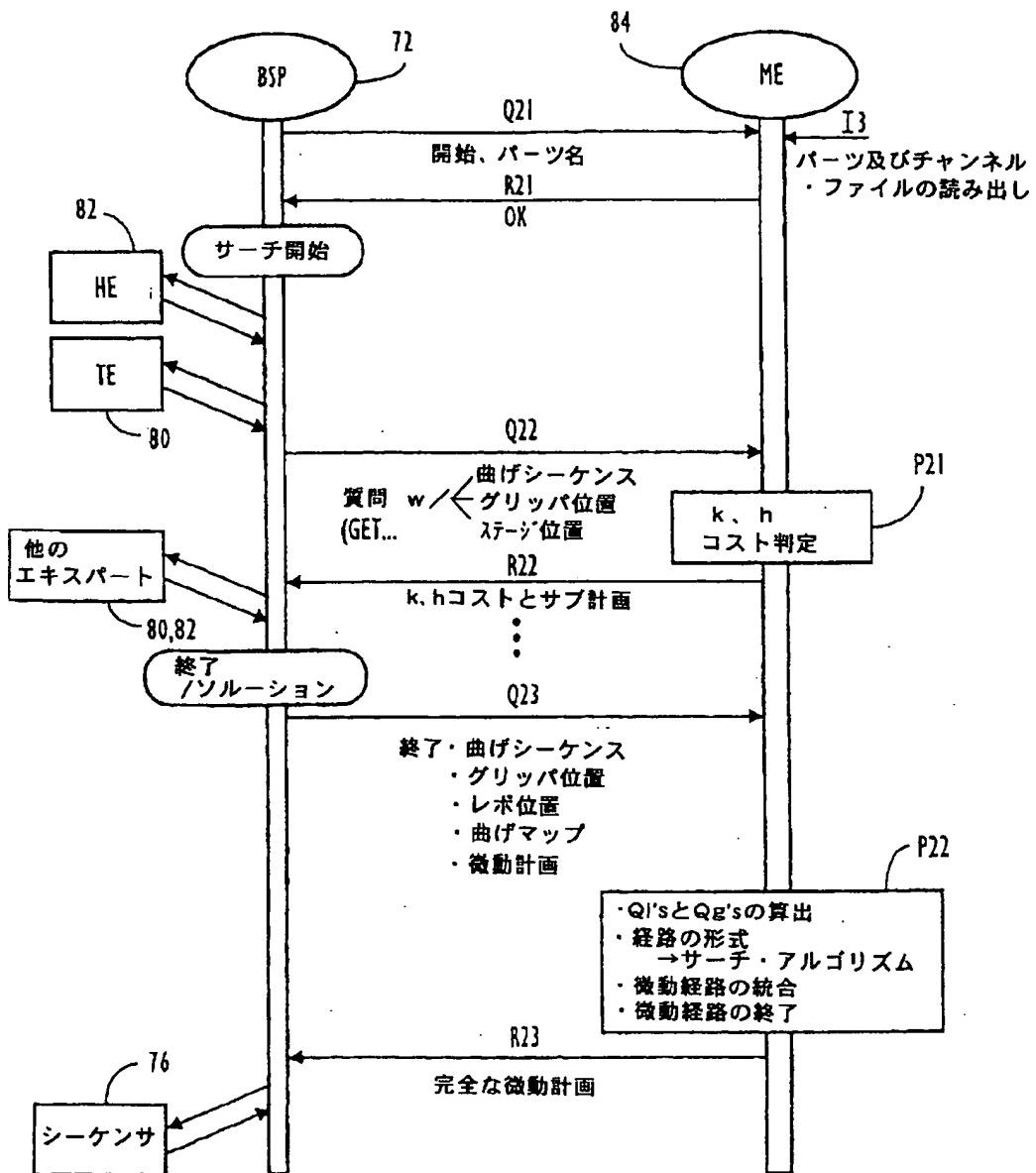


FIG. 31

【図32】

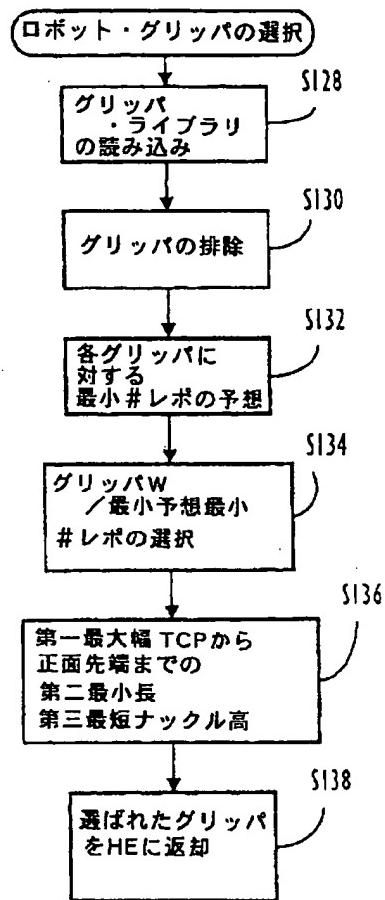


FIG. 32

【図33】

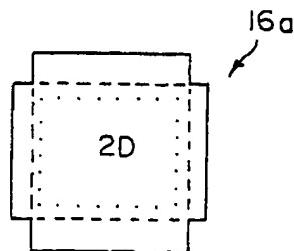


FIG. 33A

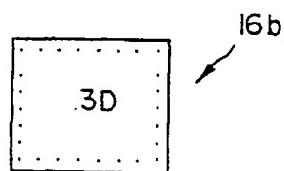


FIG. 33B

【図34】

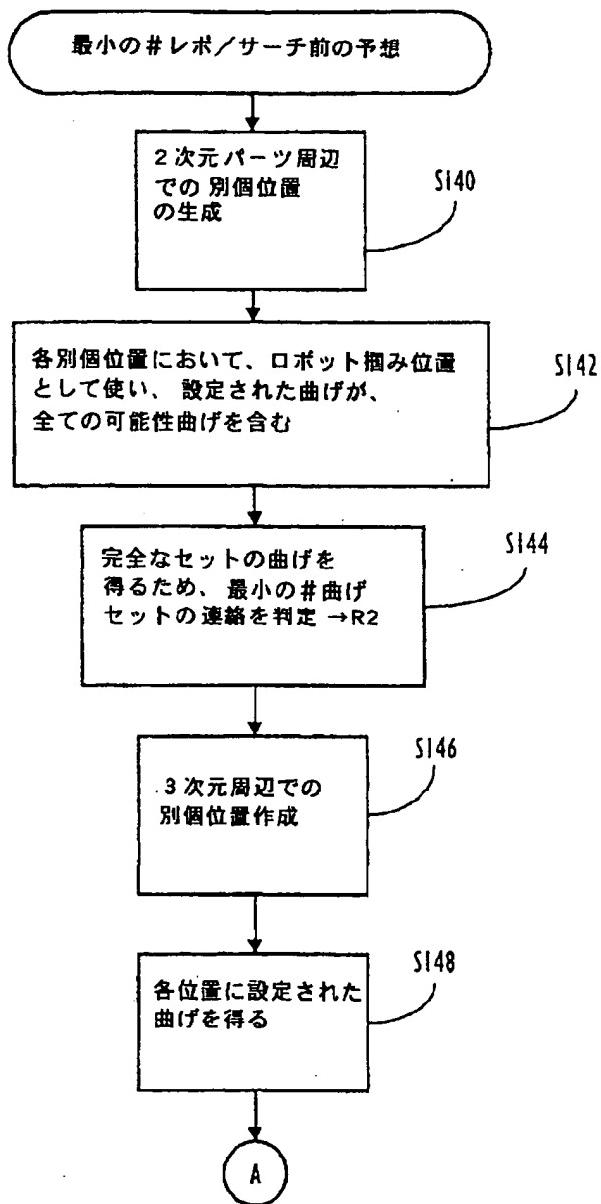


FIG. 34A

【図34】

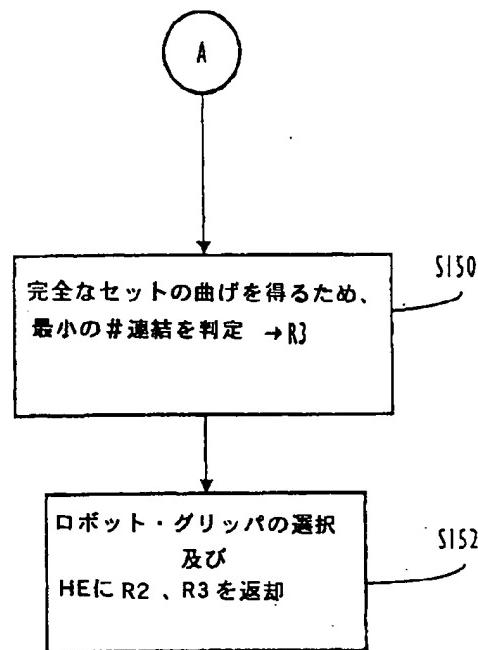


FIG. 34B

【図35】

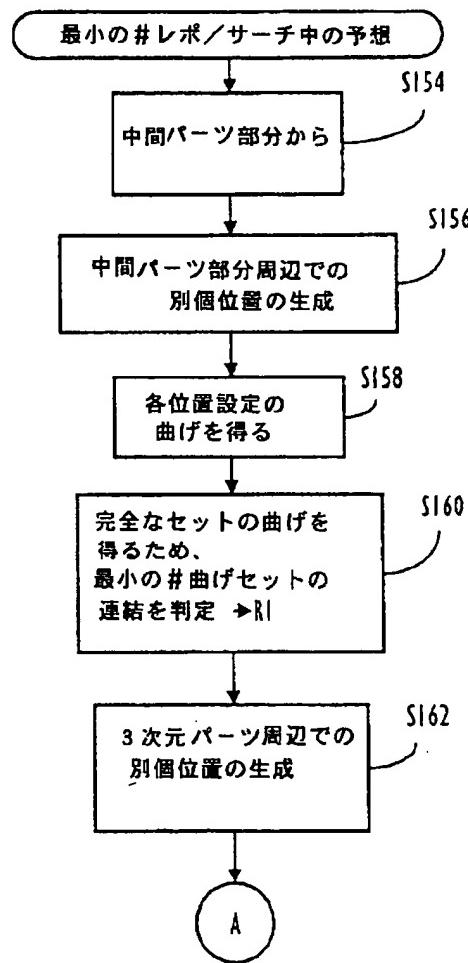


FIG. 35A

【図35】

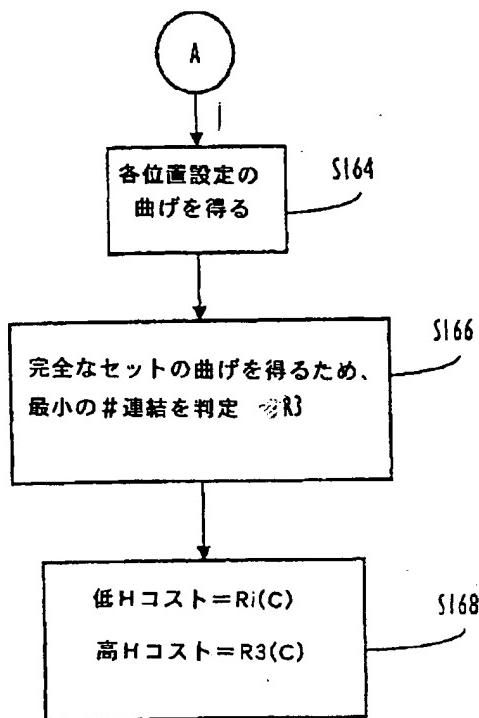


FIG. 35B

【図36】

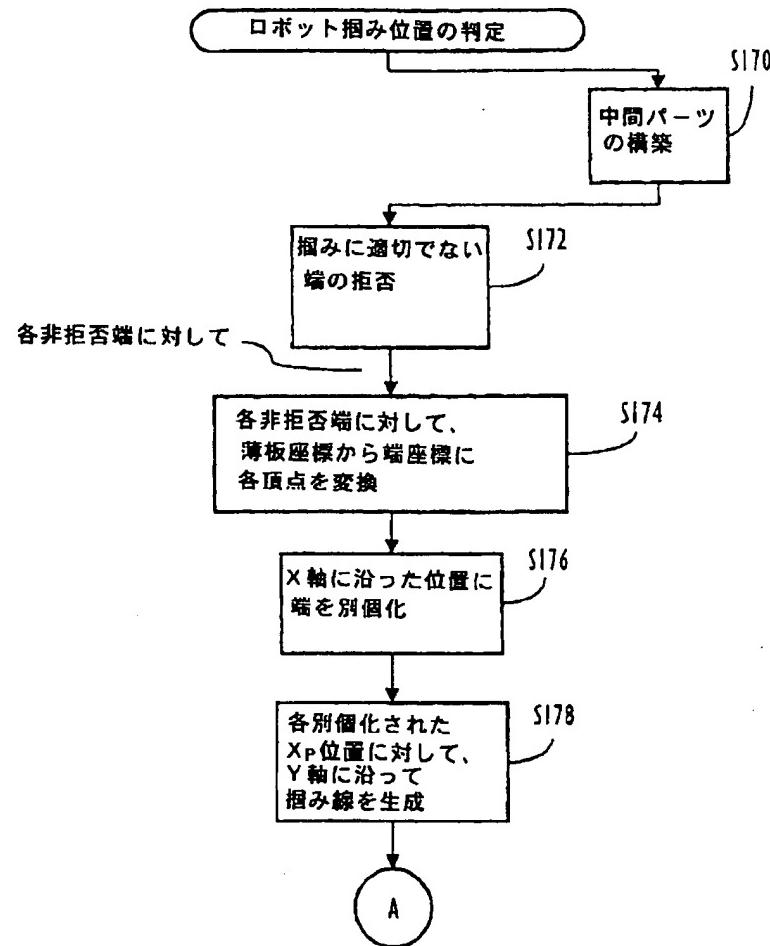


FIG. 36A

【図36】

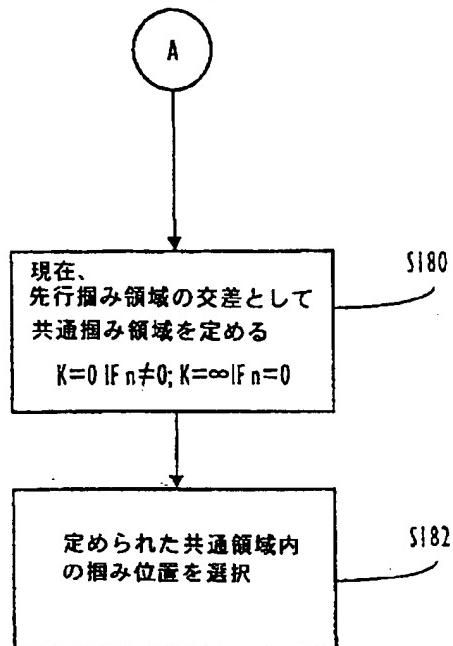


FIG. 36B

【図37】

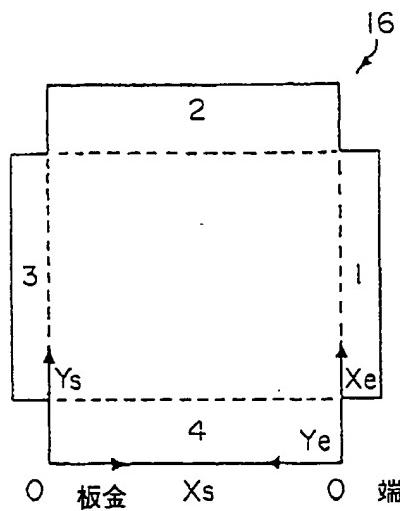


FIG. 37

【図38】

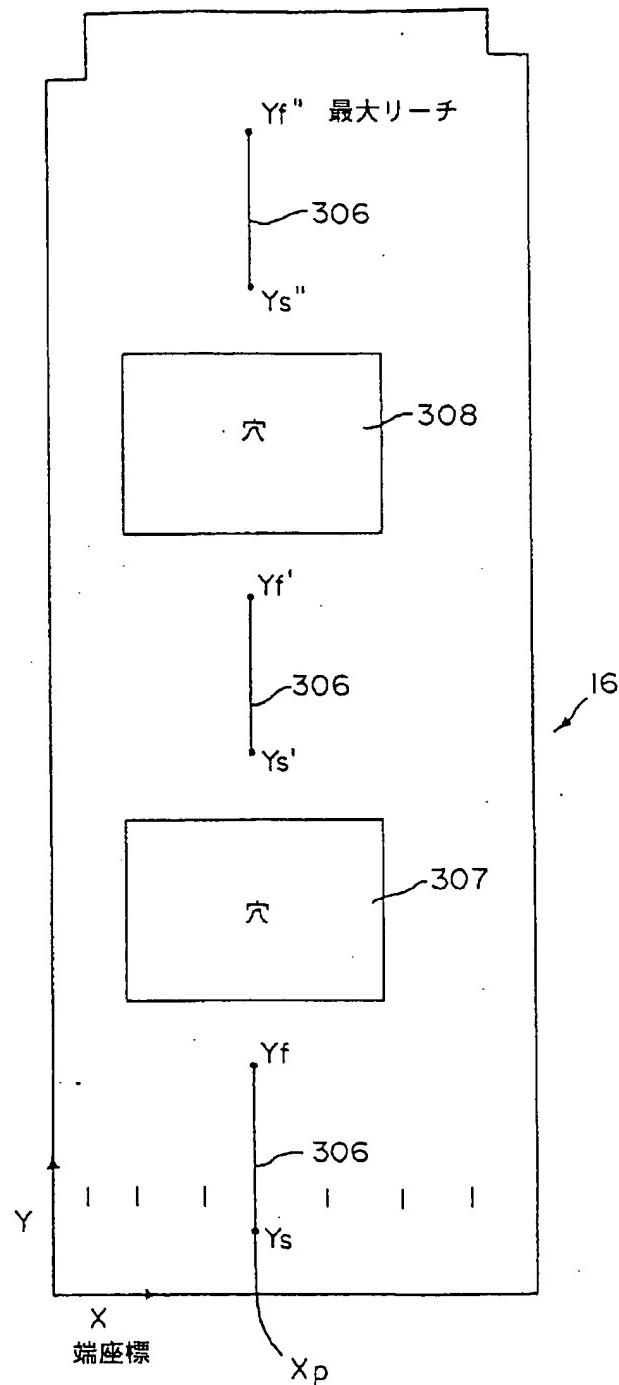
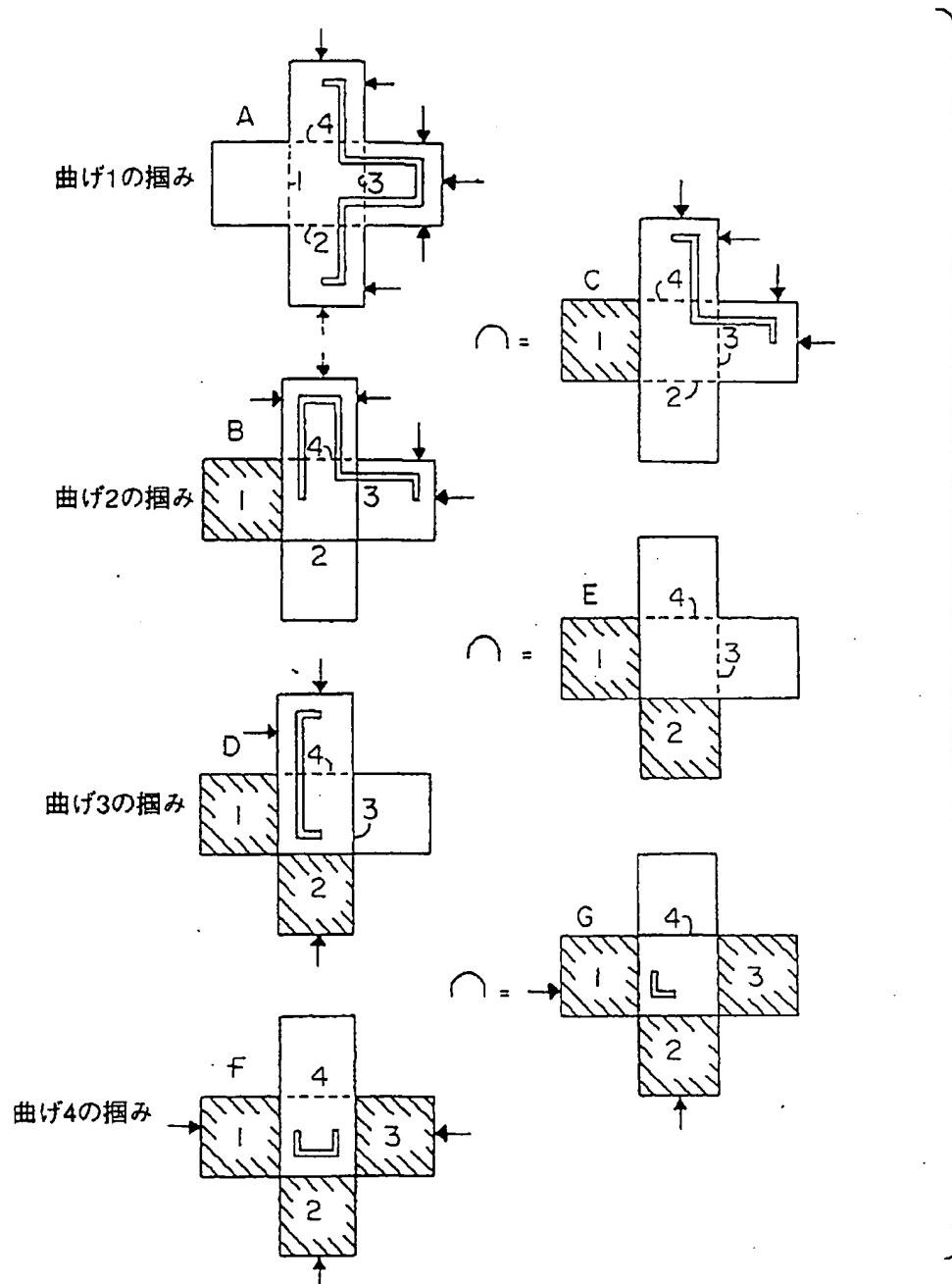
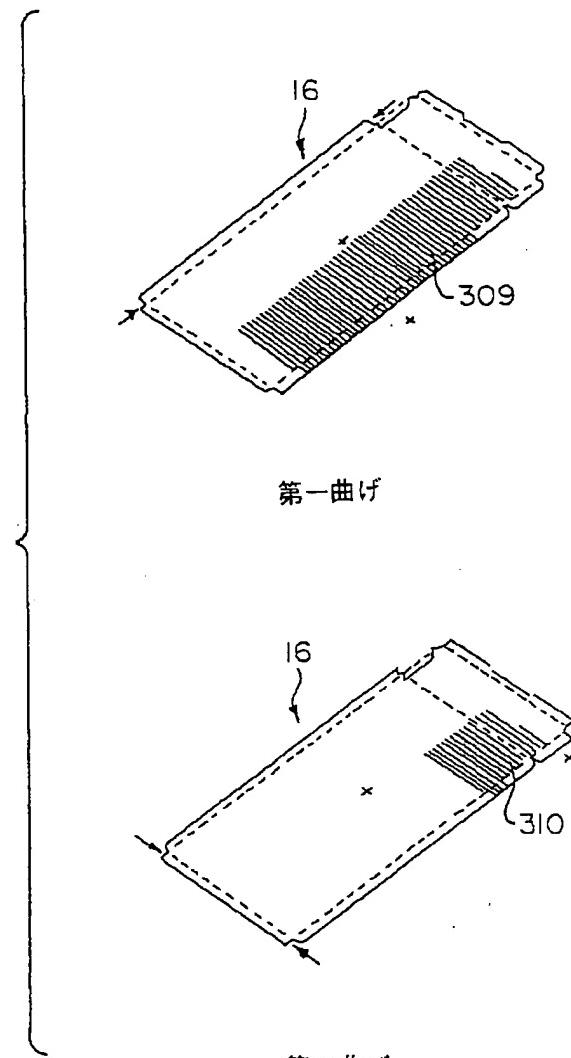


FIG. 38

【図39】



【図40】



第一曲げ

第二曲げ

FIG. 40

【図41】

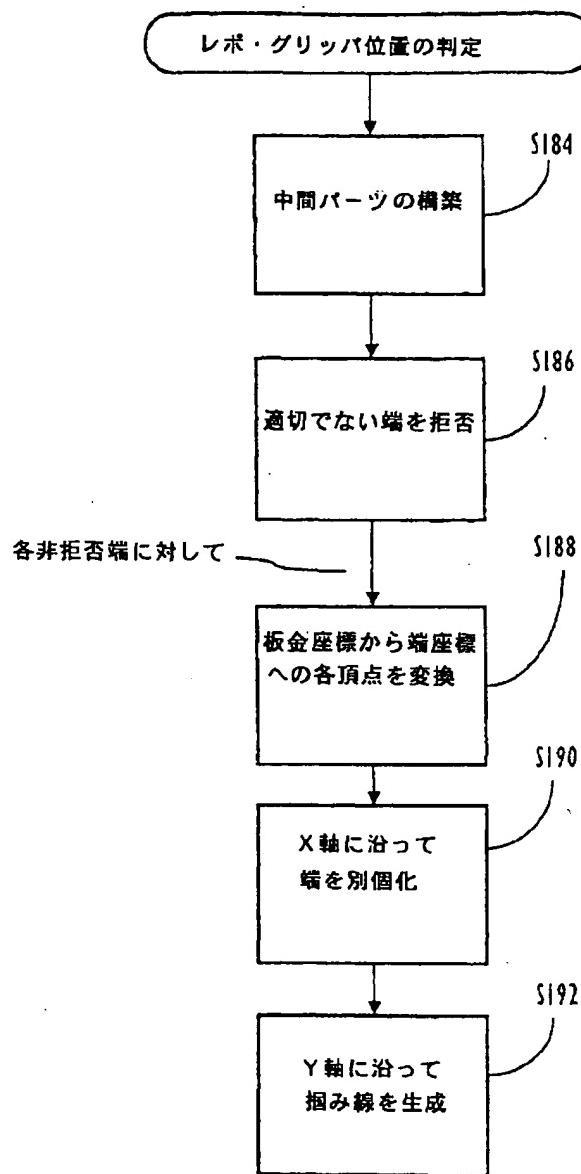


FIG. 41

【図42】

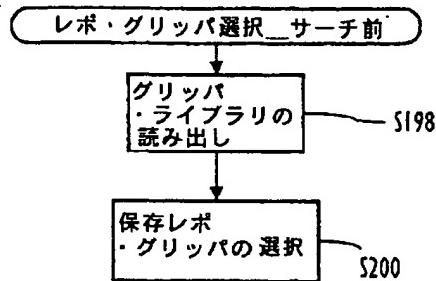


FIG. 42

【図43】

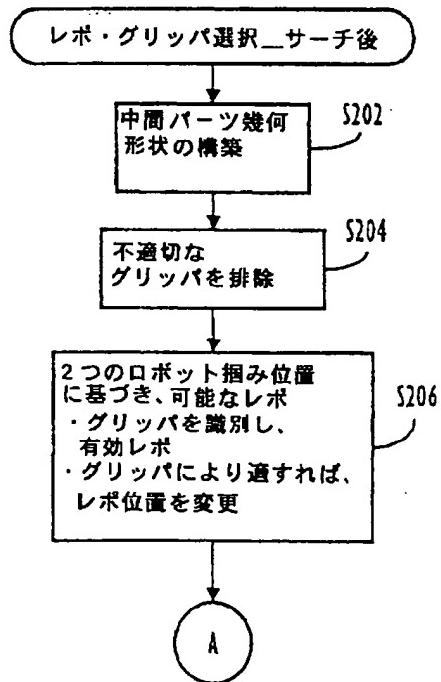


FIG. 43A

【図43】

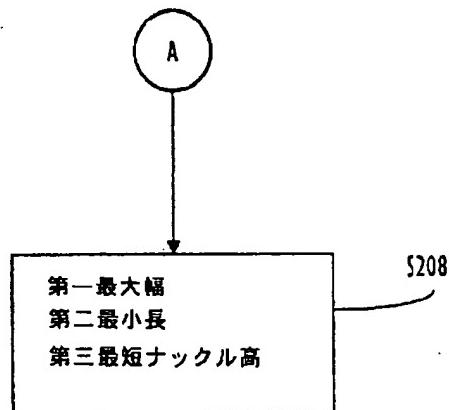


FIG. 43B

【図44】

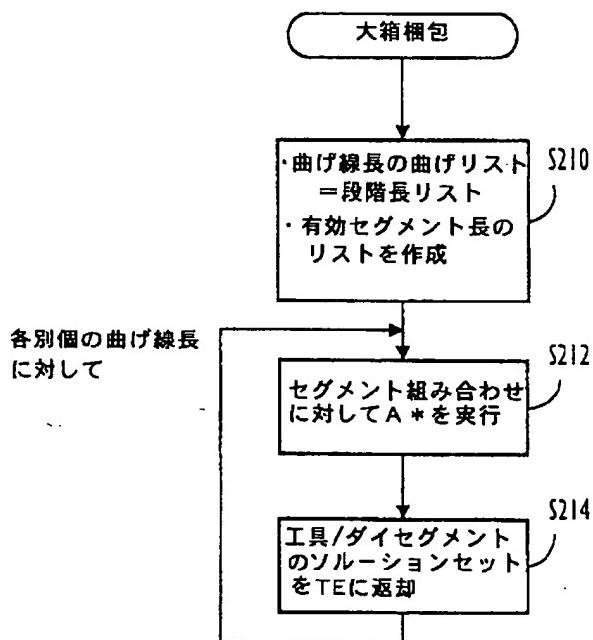


FIG. 44

【図45】

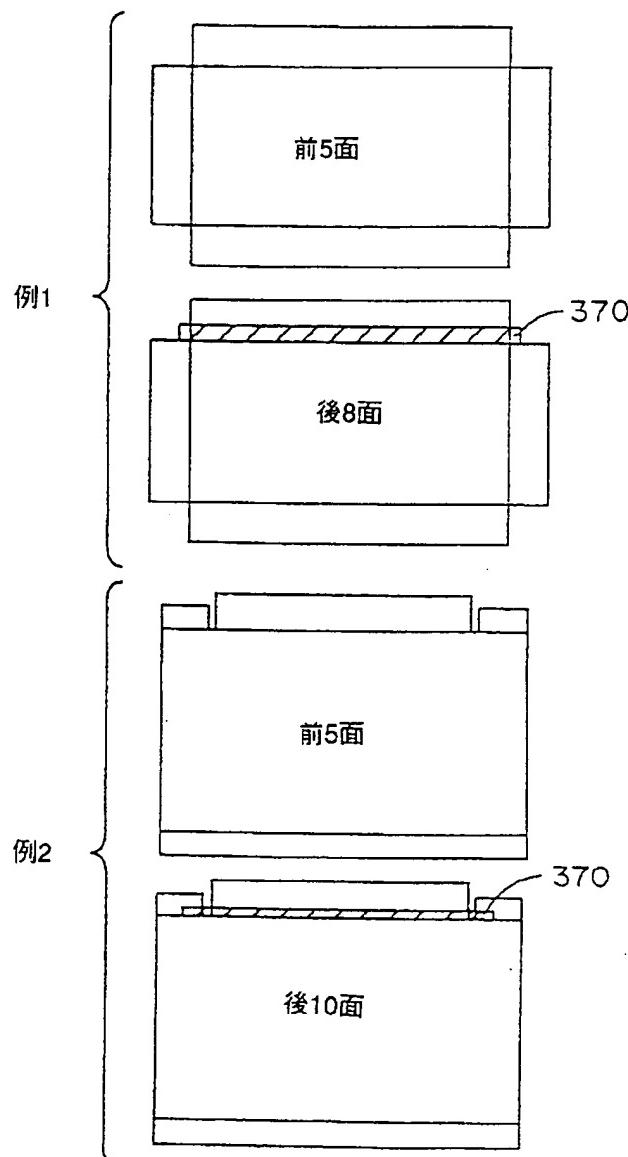


FIG. 45

【図46】

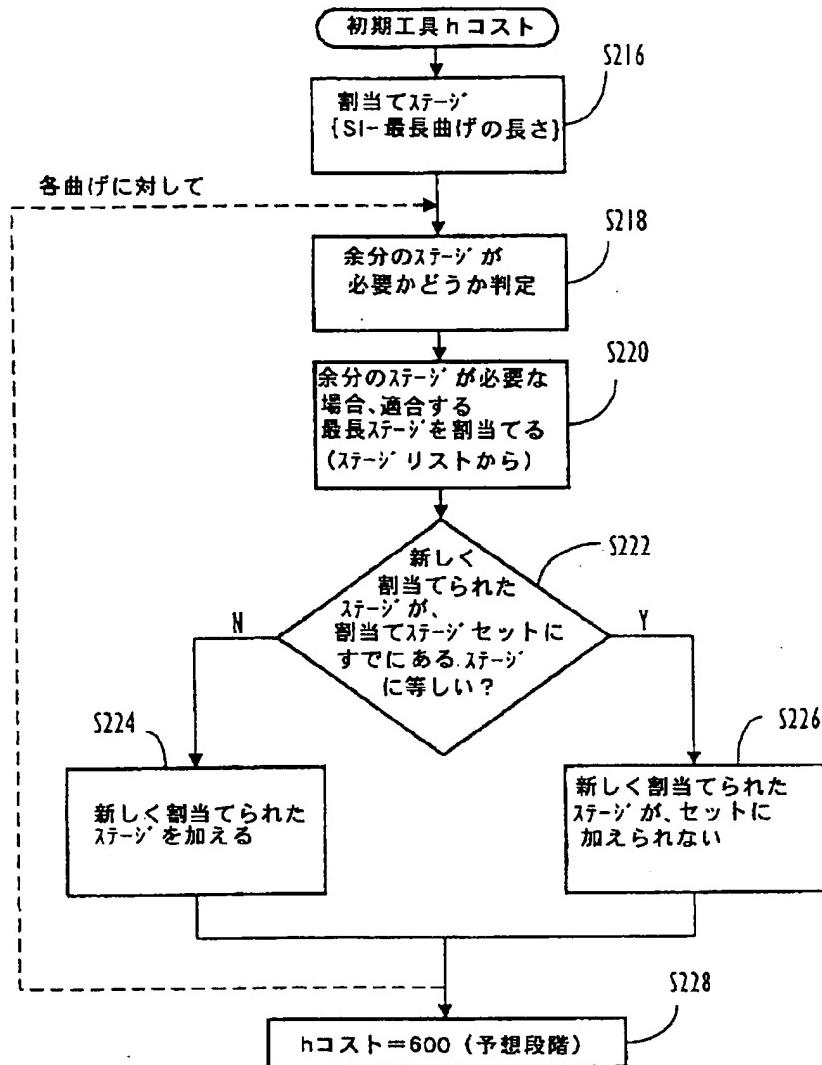


FIG. 46

【図47】

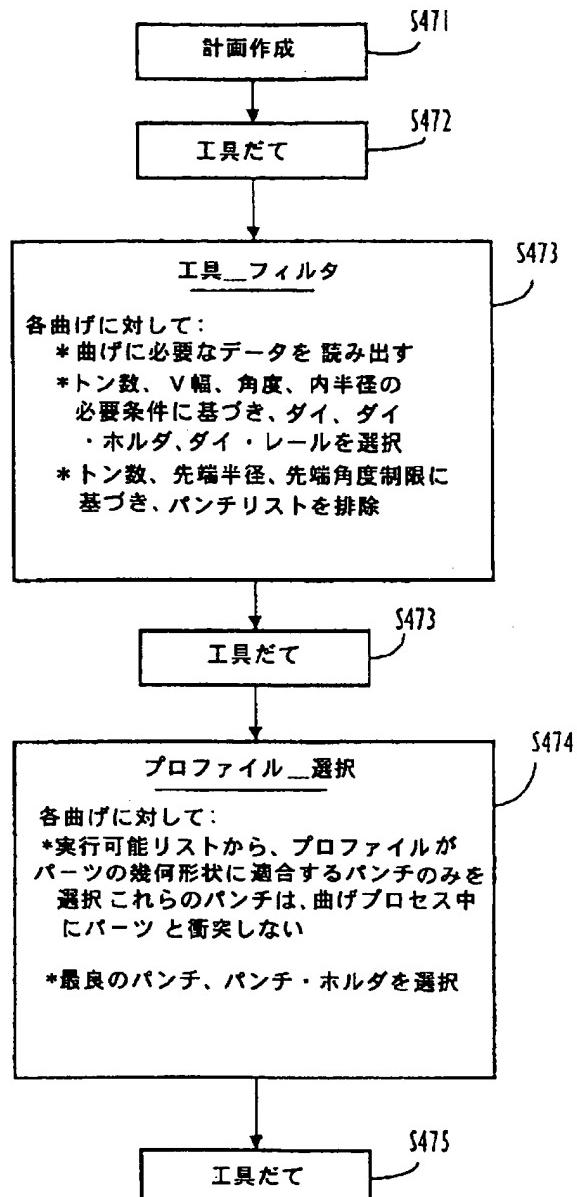


FIG. 47A

【図47】

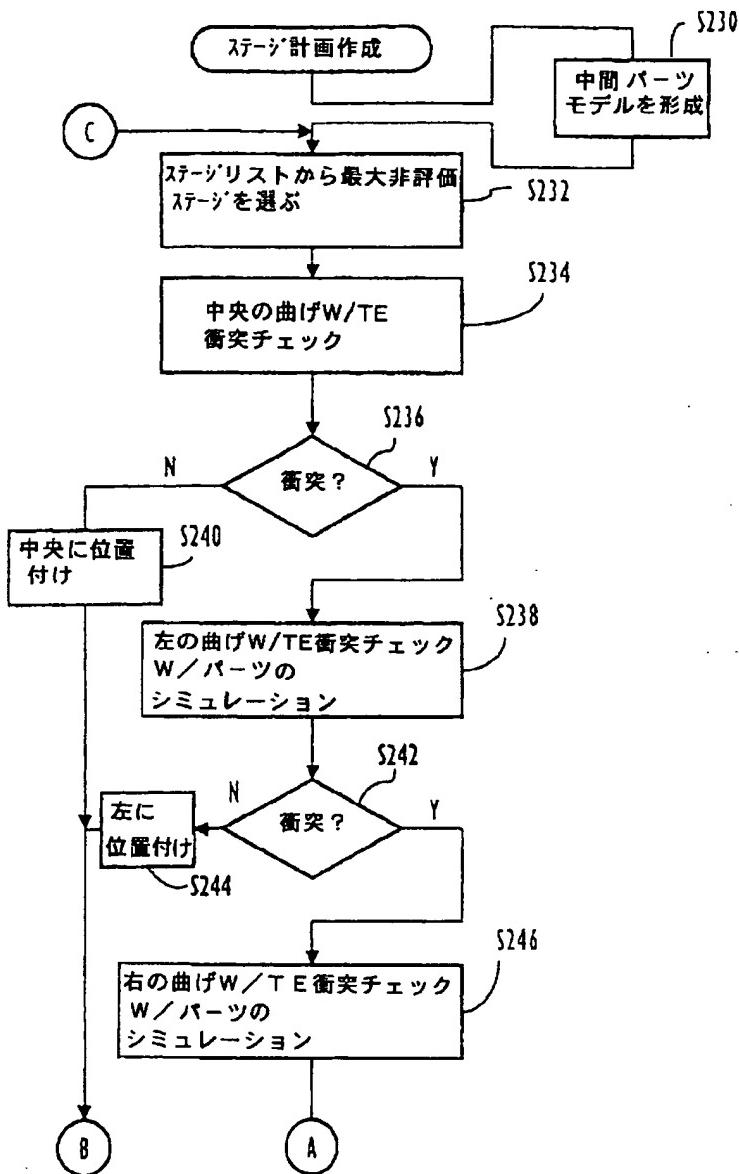


FIG. 47B

【図47】

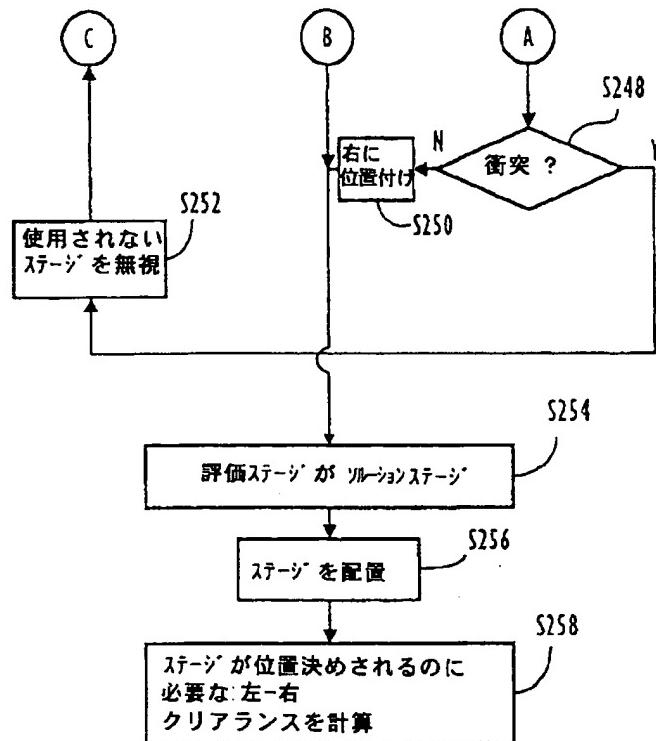


FIG. 47C

【図4.8】

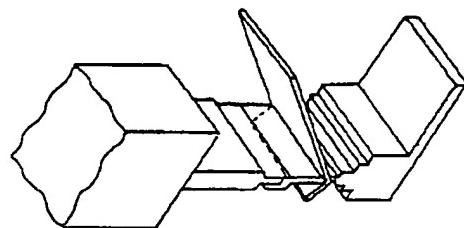


FIG. 48C

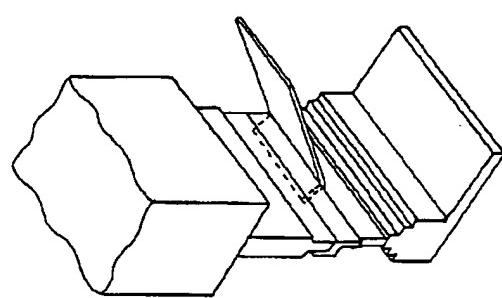


FIG. 48B

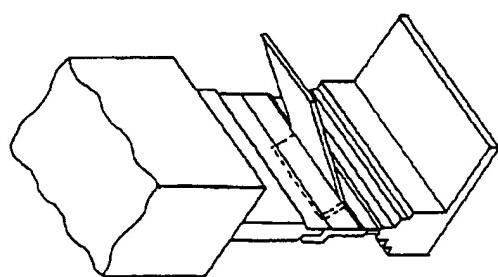


FIG. 48A

【図49】

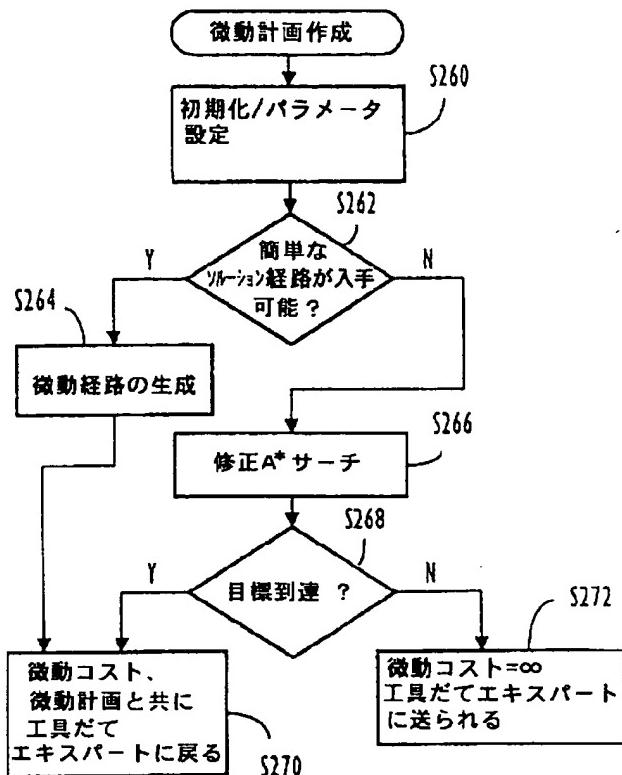


FIG. 49

【図50】

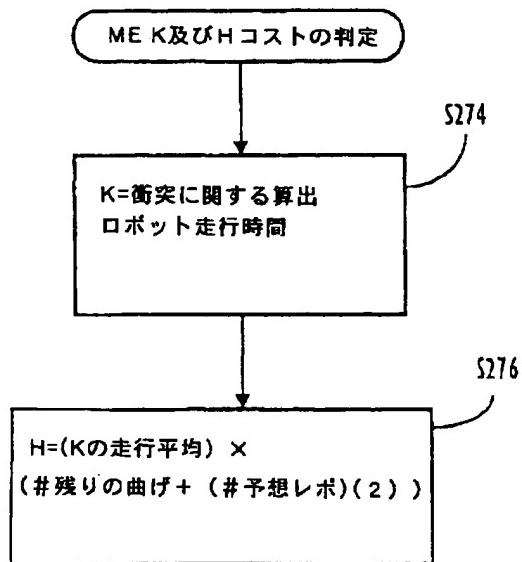


FIG. 50

【図51】

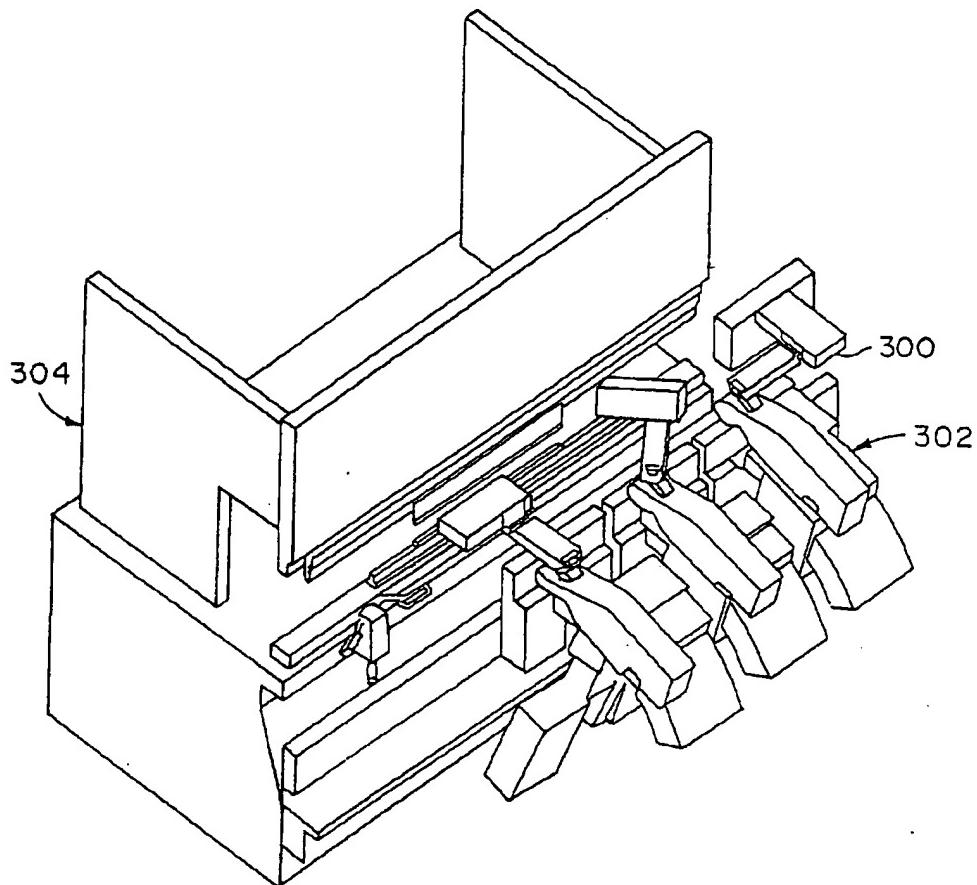


FIG. 51

【図52】

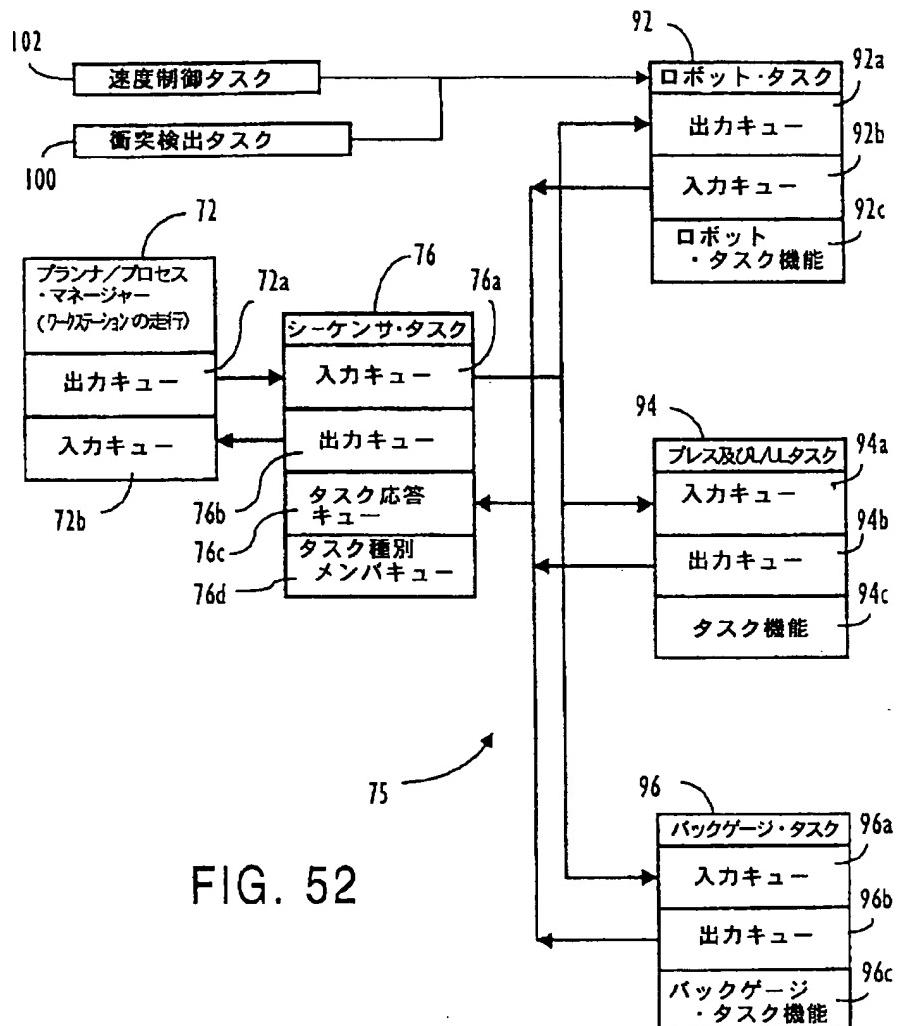


FIG. 52

75

96

【図53】

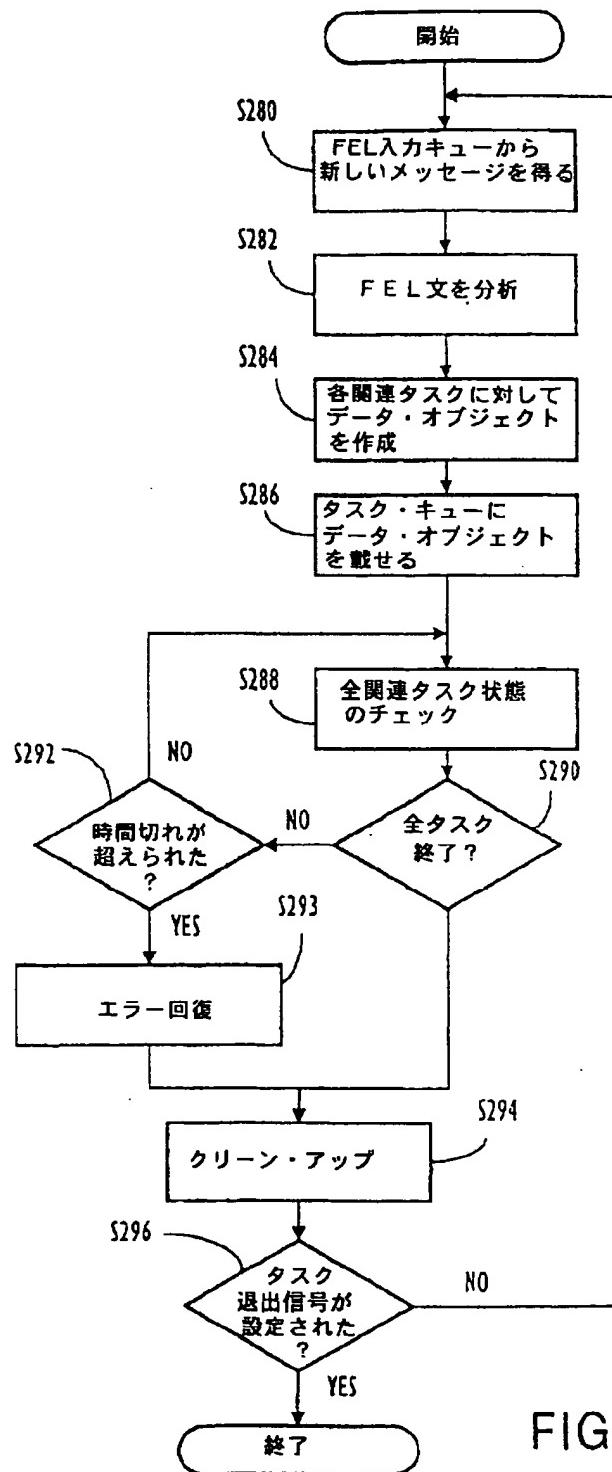


FIG. 53

【図54】

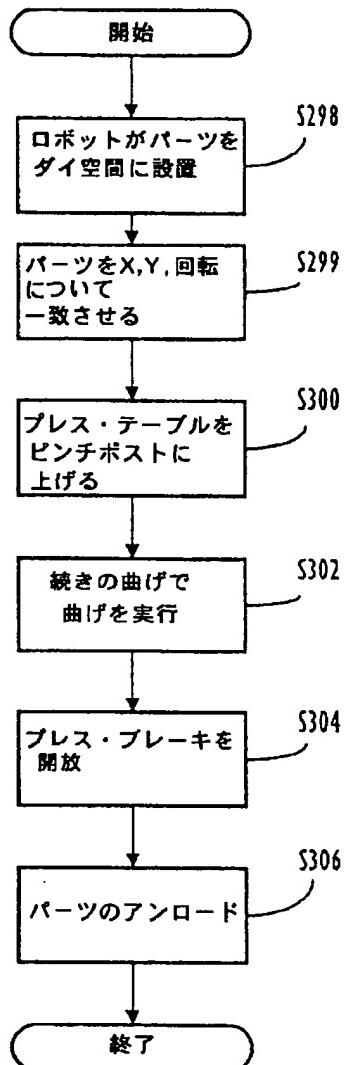


FIG. 54

【図55】

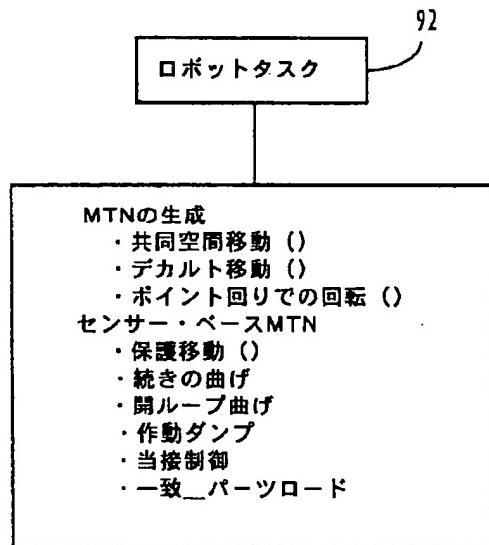


FIG. 55

【図56】

プレス及びL/ULタスク  
②

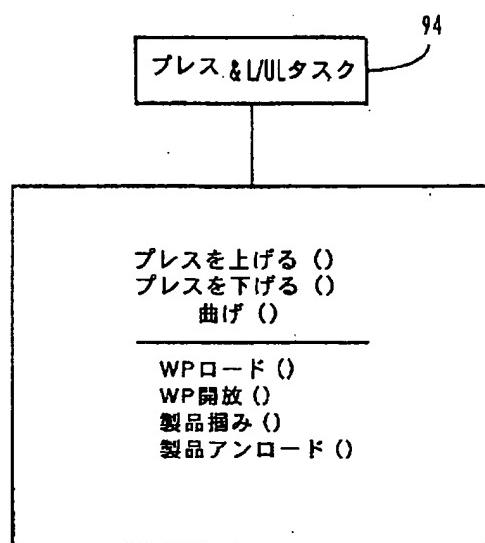


FIG. 56

【図57】

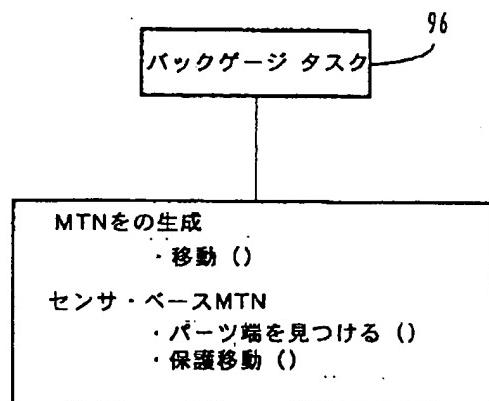


FIG. 57

【図58】

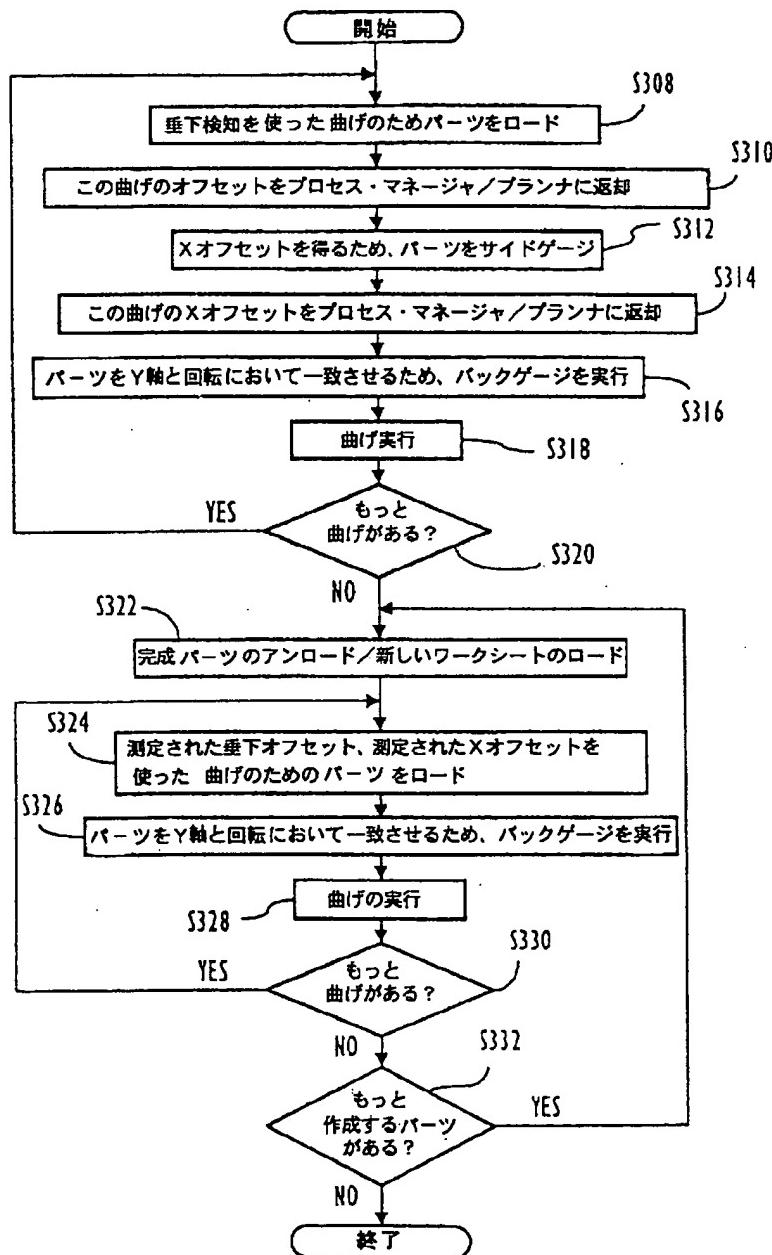


FIG. 58

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/JP 95/02291

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
IPC 6 G05B19/4097 B21D5/00 G05B19/4155 G05B19/418		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 G05B B21D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US.A.5 307 282 (HEWLETT-PACKARD COMPANY) 26 April 1994 see column 13, line 18-24 see column 2, line 17-26 see column 2, line 47-59 see column 5, line 30-35 see column 6, line 35-39 see column 8, line 5-8 see column 8, line 19-22 see column 8, line 51-56 see column 13, line 56-61 ---	1-43. 55-65
Y	US.A.5 005 394 (AMADA COMPANY) 9 April 1991. see figure 1 ---	1-43 -/-
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.
<p>* Special categories of cited documents :</p> <p>'A' document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>'E' earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>'L' document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>'O' document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>'P' document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered新颖 (new) or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>&amp;* document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
9 August 1996	04.09.96	
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 3018 Patentdienst 2 NL - 2220 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Telex 31 651 epo nl Fax (+31-70) 340-3016	Authorized officer Ash, R	

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/JP 95/02291

C(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	VDI Z, vol. 130, no. 9, September 1988, pages 101-106, XP000027002 WEULE H ET AL: "RECHNERINTEGRIERTE FERTIGUNG VON ABKANTTEILEN" see figure 2 ---	40-43, 52-54
Y	TECHNISCHE RUNDSCHEID, vol. 85, no. 5, 5 February 1993. pages 29-25, XP000342593 REISSNER J: "INNOVATIONSSCHUB BEI RECHNERINTEGRIERTEM UMFORMSYSTEMEN" Page 24, section "Automatisierte flexible Blechbearbeitungszelle" see figure 8 ---	19-21 28-35, 44-48
A	GEIGER M ET AL: "INFERENZMASCHINE FUER EIN BIEGESTADIEPLANUNGSSYSTEM" 1 May 1992 , ZWF ZEITSCHRIFT FUR WIRTSCHAFTLICHE FERTIGUNG UND AUTOMATISIERUNG, VOL. 87, NR. 5, PAGE(S) 261 - 264 XP000271922 see page 261, right-hand column Section "Verarbeitung der Bewertungskriterien nach graphentheoretischen Grundlagen" ---	49-51
Y	EP,A,0 355 454 (THE BOEING COMPANY) 28 February 1990 see page 14, line 37 - page 15, line 24 ---	4,24,27, 44-48
Y	DATABASE DIALOG Information Access Co File 621, Access No. 0134529, COMMUNIGRAPHICS INC: "LVD Introduces new CNC/DNC/CAD/CAM control system for press brakes at IMTS '86" XP002010528 see the whole document & NEW PRODUCT ANNOUNCEMENTS. no. 0134529, July 1986. PLAINVILLE, CT. USA, COMMUNIGRAPHICS INC: "LVD introduces new CNC/DNC/CAD/CAM control system for press brakes at IMTS '86 " see the whole document ---	1,5, 7-16,22, 23,55-65
Y	US,A,5 058 406 (AMADA COMPANY) 22 October 1991 see claim 9 ---	1,5, 7-16,22, 23,55-65
Y	EP,A,0 391 527 (BRIGHAM YOUNG UNIVERSITY) 1 February 1989 see page 8, line 17-19 -----	66

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

<input checked="" type="checkbox"/> International application No.
PCT/JP 95/02291

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(3)(a) for the following reasons:

1.  Claims Nos.: because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
  
  
2.  Claims Nos.: because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
  
  
3.  Claims Nos.: because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see annex

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
  
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
  
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
  
  
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.  
 No protest accompanied the payment of additional search fees.

## FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/210

## 1.- Independent claim 1:

A system for generating a bending plan for a bending machine including means for proposing a bending plan and means for generating a bending plan

## 2.- Independent claim 44:

A method for selecting a gripper for holding a workpiece which is bent in a bending machine.

## 3.- Independent claim 49:

A method for determining a gripper location on a workpiece.

## 4.- Independent claim 52:

A method of selecting a tool to be used.

## 5.- Independent claim 54:

A method for determining the layout of tooling stages on a die rail.

## 6.- Independent claim 55:

A system for generating a plan and controlling a bending apparatus.

## 7.- Independent claim 63:

A system for performing set-up operations.

## 8.- Independent claim 66:

A system for executing a bending plan for controlling a bending apparatus including learned control means.

## 9.- claims 2 and 3:

Means for proposing bends amongst the remaining bends.

## 10.- Claim 4:

Means for repositioning the gripper's hold.

## 11.- Claims 5 and 7 to 16:

The generated plan includes at least part of the proposed subplan accompanying each bend.

## 12.- Claim 6:

Means for representing the mth operation as the mth level of a search tree.

## 13.- Claims 17 to 35, 38 and 39:

Estimating means for estimating the cost of bending.

## 14.- Claims 36 and 37:

Means for setting a priority of proposed bends using

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/210

heuristics determined upon workpiece geometry.

15.- Claims 40 to 43:

Means for determining the time needed for bending

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/JP 95/02291

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US-A-5307282	26-04-94	EP-A-	0419013	27-03-91
US-A-5005394	09-04-91	AT-B- AT-A- CA-A- CH-A- DE-A- FR-A- GB-A,B JP-A- SE-A-	401026 306188 1313555 678506 3842254 2624411 2211002 1284427 8804534	28-05-96 15-10-95 09-02-93 30-09-91 06-07-89 16-06-89 21-06-89 15-11-89 15-12-88
EP-A-0355454	28-02-90	US-A- JP-A- US-A- US-A-	4998206 2160458 5631441 5146670	05-03-91 20-06-90 16-07-91 15-09-92
US-A-5058405	22-10-91	CA-A- CH-A- DE-A- FR-A- GB-A,B GB-A- JP-A- KR-B- US-A-	1336570 677623 3902149 2626506 2215247 2249275 1289525 9312254 5182936	08-08-95 14-06-91 31-08-89 04-08-89 20-09-89 06-05-92 21-11-89 28-12-93 02-02-93
EP-A-0301527	01-02-89	US-A- CA-A- CN-A,B JP-A- JP-B-	4831549 1331795 1033590 1159186 8000377	15-05-89 30-08-94 05-07-89 22-06-89 10-01-96

## フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE,  
DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M  
C, NL, PT, SE), CA, CN, JP, KR

(72)発明者 ウィリアムズ ドゥアーネ トーマス  
アメリカ合衆国 15217-1834 ペンシル  
ベニア ピッツバーグ パートレット ス  
トリート 6514

(72)発明者 キム ヤング ハン  
アメリカ合衆国 15217 ペンシルベニア  
ピッツバーグ アパートメント ビー  
5 ホバート ストリート 5641

(72)発明者 クリスナン シバラード シバラマ  
インディア 560034 バンガロー ▲II  
I▼ ブロック コラマンガラ フィフティ  
ーンス メイン 515

(72)発明者 ケンスケ ハザマ  
アメリカ合衆国 90621 カリフォルニア  
ブエナパーク ファイアーストーン ブ  
ルバード 7025 シーオー アマダ アメ  
リカ, イング

【要約の続き】  
ト計算、スケジュール作成、及び／又は製造、アセンブ  
リを実行する設計、アセンブリ・システム等の機能を支  
援するのに利用される。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

---

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

**BLACK BORDERS**

**IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

**FADED TEXT OR DRAWING**

**BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

**SKEWED/SLANTED IMAGES**

**COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

**GRAY SCALE DOCUMENTS**

**LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

**REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

**OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

---